

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDRODİNAMİK EKSENEL KAYMALI YATAKLARIN
PERFORMANSINA DEFORMASYONUN ETKİSİ**

Çağrı ÖZGEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA-2006

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDRODİNAMİK EKSENEL KAYMALI YATAKLARIN
PERFORMANSINA DEFORMASYONUN ETKİSİ

Çağrı ÖZGEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 01.05.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Emin GÜLLÜ
(Danışman)

Prof. Dr. Osman KOPMAZ

Prof. Dr. Recep EREN

ÖZET

Bu çalışmanın konusu, hidrodinamik aksenel kaymalı yataklarda lokma (pad) ve şaft (kayıcı) deformasyonunun yatak performansına etkileridir. Çalışma esnasında izlenen yöntemde öncelikli olarak izotermal şartlar ve sabit yağ viskozitesi kabulü yapılarak Reynolds denklemi yardımıyla yatak içerisindeki basınç dağılımı elde edilmiştir. Daha sonra, lineer elastik malzemelere uygulanan bünye denklemlerinin lokma ve şaftta ayrı ayrı uygulanmasıyla yataktaki deformasyon miktarı elde edilmiştir. Gerek sonuçların genel bir anlam taşınması, gerekse işlem kolaylığı sağlanması bakımından boyutsuz denklemler ile çalışmak tercih edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda, çalışma esnasında ele alınan çelik-çelik, çelik-bronz ve çelik-dökme demir malzeme çiftleri için yatağa ait deformasyon öncesi ve sonrası yağ filmi kalınlığı, boyutsuz basınç değerleri ile deformasyon miktarı ve yatağın yük taşıma kapasitesindeki değişim bulunup karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yatak yük taşıma kapasitesindeki en büyük düşüşün çelik-dökme demir çiftinde olduğu (%1,98) görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hidrodinamik aksenel kaymalı yatak, deformasyon, elastohidrodinamik, EHD.

ABSTRACT**The Deformations' Effect On The Performance of Hydrodynamic Thrust Bearings**

The subject is concerned with the effects of the deformations of both pad and runner on the performance of hydrodynamic thrust bearings. At the beginning of the study, pressure distribution in the thrust bearing has been calculated using the Reynolds equation in the case of stable oil viscosity and isothermal conditions. Then, the deformation of thrust bearing is found out by applying the constitutive equations – for the linear elastic materials- to both pad and runner. For the purpose of the generalization in the results and easy calculation, it is preferred to examine the case using dimensionless equations.

Consequently, the oil film thickness and pressure distribution before and after the deformation, the amount of deformation that occurred in the bearing and the thrust bearing load carrying capacity have been calculated and compared for the steel-steel, steel-bronze and steel-cast iron material pairs. As the results clearly indicate, the highest load carrying capacity loss for the thrust bearing is for the steel-cast iron material pair as the percentage of 1,98 %.

Keywords: Hydrodynamic thrust bearing, deformation, elastohydrodynamic, EHD.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| 1- GİRİŞ | 1 |
| 2- KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| 3- MATERYAL ve YÖNTEM | 6 |
| 3.1. YAĞLAMA TEORİSİ ve ELASTOHİDRODİNAMİK TEORİ | 6 |
| 3.1.1. Yağlama Teorisi | 6 |
| 3.1.2. Hidrodinamik Teori | 7 |
| 3.1.3. Elastohidrodinamik Yağlama Teorisi | 11 |
| 3.1.3.1. Kaymalı Yataklarda EHD Olayının Ele Alınışı | 12 |
| 3.2. TEORİ ve PROBLEMİN MATEMATİK MODELİNİN KURULMASI | 13 |
| 3.2.1. Hidrodinamik Analizler | 13 |
| 3.2.1.1. Reynolds Denklemine Boyutsuzlaştırılması ve Çözülmesi | 13 |
| 3.2.2. Yatak Deformasyon Analizi | 15 |
| 3.2.2.1. Bünye Denklemleri | 15 |
| 3.2.2.2. Sınır Şartları | 21 |
| 4- ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA | 33 |
| KAYNAKLAR | 38 |
| EKLER | 41 |
| EK-1 | 41 |
| EK-2 | 98 |
| EK-3 | 99 |
| TEŞEKKÜR | 116 |
| ÖZGEÇMİŞ | 117 |

SİMGELER DİZİNİ

| | | |
|----------------|--|----------------------|
| λ, μ | Lame sabiti | (N/mm ²) |
| μ | Yağın viskozitesi | (Ns/m ²) |
| μ_0 | Yağın atmosfer basıncındaki viskozitesi | (Ns/m ²) |
| ν | Poisson oranı | - |
| ρ | Yağın yoğunluğu | (kg/m ³) |
| τ | Newtonyen akışkanda yağın katmanları arasında oluşan kayma gerilmesi | (N/mm ²) |
| δ | Lokma giriş ve çıkışındaki yağ filmi kalınlığı farkı | (mm) |
| θ | Lokma açısı | (°),(rad) |
| α | 0-1 arasında piezoviskoz katsayı | - |
| a | Yarıçap | (mm) |
| B | Yatak lokma uzunluğu | (mm) |
| E | Elastisite modülü | (N/mm ²) |
| G | Kayma modülü | (N/mm ²) |
| h | Yağ filmi kalınlığı | (mm) |
| h_1, h_2 | Lokma giriş ve çıkışlarındaki yağ filmi kalınlıkları | (mm) |
| \bar{h} | Boyutsuz yağ filmi kalınlığı | - |
| L | Yatak lokma genişliği | (mm) |
| N | Devir sayısı | (1/dk) |
| P, p | Basınç | (at) |
| \bar{p} | Boyutsuz basınç | - |
| \dot{q} | Yatakta birim zamanda ısı iletim miktarı | (joulue/s) |
| r | Yarıçap | (mm) |
| R_i, R_d | Yatak iç ve dış yarıçapı | (mm) |
| U | Yatağın çevresel hızı | (m/s) |
| U_1, U_2 | Yatak alt ve üst yüzeyine ait hızlar | (m/s) |
| u, v, w | x, y, z doğrultularındaki hız bileşenleri | (m/s) |
| u, v, w | r, θ , z doğrultularındaki deformasyon miktarları | (mm) |
| W | Yatak yükü | (N) |
| \bar{W} | Noktasal yük | (N) |

| | | |
|-----------|---|-------|
| \bar{w} | \bar{W} noktasal yükü sonucu oluşan sehim | (mm) |
| ACI | Bilgisayar programında lokma açısı | (rad) |
| EPS | İterasyon sonunda meydana gelen toplam hata miktarı | - |
| H2DELTA | Bilgisayar programında h_2 / δ değeri | - |
| LR2 | Bilgisayar programında L / R_d değeri | - |
| N, M, S | Yatak lokmasında iterasyon için ağ boyutu | - |
| SEPS | İterasyonu sonlandırmak için izin verilen toplam hata miktarı | - |

KISALTMALAR

| | |
|-----|--------------------|
| EHD | Elastohidrodinamik |
| HD | Hidrodinamik |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 1.1 | Bir hidrodinamik kaymalı yatak örneği | 1 |
| Şekil 3.1 | Eğimli plakalar arasında oluşan yağ kama etkisi | 6 |
| Şekil 3.2 | Yatak İçerisindeki Koordinat Sistemi | 9 |
| Şekil 3.3 | Yatak geometrik ölçüleri | 14 |
| Şekil 3.4 | İterasyon için yatak ağ yapısı | 15 |
| Şekil 3.5 | Lokmaya ait yüzeyler | 22 |
| Şekil 3.6 | Şaftın hareketi | 27 |
| Şekil 3.7 | Şaftın lokmaya göre hareketi | 28 |
| Şekil 3.8 | Şaft üzerindeki çalışma alanı | 29 |
| Şekil 3.9 | Heaviside fonksiyonu | 29 |
| Şekil 4.1 | Bilgisayar programı akış şeması | 34 |
| Şekil 4.2 | Çeşitli yatak profilleri(a) Sabit eğimli (b) Hiperbolik (c) Basamaktip | 37 |
| Şekil 6.1 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 44 |
| Şekil 6.2 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 44 |
| Şekil 6.3 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 47 |
| Şekil 6.4 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 47 |
| Şekil 6.5 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 50 |
| Şekil 6.6 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 50 |
| Şekil 6.7 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 53 |
| Şekil 6.8 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 53 |
| Şekil 6.9 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 56 |

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 6.10 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 56 |
| Şekil 6.11 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 59 |
| Şekil 6.12 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 59 |
| Şekil 6.13 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 62 |
| Şekil 6.14 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 62 |
| Şekil 6.15 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 65 |
| Şekil 6.16 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 65 |
| Şekil 6.17 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 68 |
| Şekil 6.18 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 68 |
| Şekil 6.19 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 71 |
| Şekil 6.20 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 71 |
| Şekil 6.21 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 74 |
| Şekil 6.22 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 74 |
| Şekil 6.23 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 77 |
| Şekil 6.24 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 77 |
| Şekil 6.25 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 80 |

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 6.26 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 80 |
| Şekil 6.27 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 83 |
| Şekil 6.28 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 83 |
| Şekil 6.29 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 86 |
| Şekil 6.30 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 86 |
| Şekil 6.31 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 89 |
| Şekil 6.32 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 89 |
| Şekil 6.33 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 92 |
| Şekil 6.34 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 92 |
| Şekil 6.35 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 95 |
| Şekil 6.36 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 95 |
| Şekil 6.37 | Heaviside fonksiyonu | 98 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

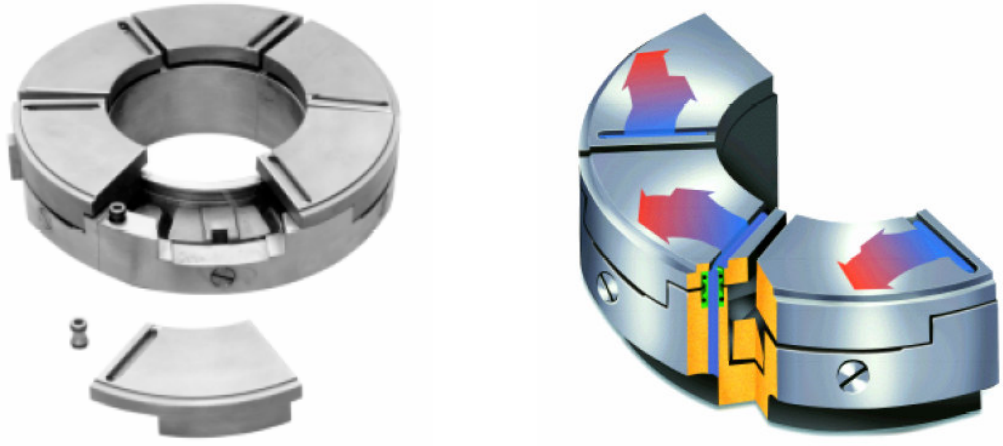
| | | |
|--------------|---|----|
| Çizelge 4.1 | Çeşitli malzeme çiftleri için yatak performans değerleri | 35 |
| Çizelge 6.1 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 42 |
| Çizelge 6.2 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 43 |
| Çizelge 6.3 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 45 |
| Çizelge 6.4 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$) | 46 |
| Çizelge 6.5 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 48 |
| Çizelge 6.6 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 49 |
| Çizelge 6.7 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 51 |
| Çizelge 6.8 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$) | 52 |
| Çizelge 6.9 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 54 |
| Çizelge 6.10 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 55 |
| Çizelge 6.11 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 57 |
| Çizelge 6.12 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$) | 58 |
| Çizelge 6.13 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 60 |
| Çizelge 6.14 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 61 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Çizelge 6.15 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 63 |
| Çizelge 6.16 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$) | 64 |
| Çizelge 6.17 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 66 |
| Çizelge 6.18 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 67 |
| Çizelge 6.19 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 69 |
| Çizelge 6.20 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$) | 70 |
| Çizelge 6.21 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 72 |
| Çizelge 6.22 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 73 |
| Çizelge 6.23 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 75 |
| Çizelge 6.24 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/2$) | 76 |
| Çizelge 6.25 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 78 |
| Çizelge 6.26 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 79 |
| Çizelge 6.27 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 81 |
| Çizelge 6.28 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/4$) | 82 |
| Çizelge 6.29 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 84 |
| Çizelge 6.30 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 85 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Çizelge 6.31 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 87 |
| Çizelge 6.32 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/4$) | 88 |
| Çizelge 6.33 | Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 90 |
| Çizelge 6.34 | Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 91 |
| Çizelge 6.35 | Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 93 |
| Çizelge 6.36 | Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1/4$) | 94 |
| Çizelge 6.37 | Deformasyonların grafiksel değerleri | 96 |

1. GİRİŞ

Hidrodinamik kaymalı yatakların (Şekil 1.1) temel prensibi, birbirlerinden farklı hıza sahip ve aralıkları daralan iki yüzey arasında kuvvet taşıyabilen bir yağ filminin oluşmasıdır. Bu yağ filmini oluşturmada yaşanan problemler, eskiden beri mühendislik uygulamalarında bir sorun teşkil etmektedir ve geniş bir çalışma alanına sahiptir.



Şekil 1.1 Bir hidrodinamik kaymalı yatak örneği

1883 yılında Tower, kaymalı yataklardaki yukarıda bahsedilen temel prensibe ait gerçeği deneysel olarak bulmuş ve bunun sonucu olarak da kaymalı yataklara ilişkin teorik çalışmalar da hız kazanmıştır. Tower'ın deneysel çalışmalarından yola çıkan Reynolds, viskoz bir akışkan olan yağın dönen mile sanki yapışarak mil tarafından hareket ettirilmesi ve yağ katmanları arasındaki kayma gerilmesi nedeni ile mil ve yatak arasındaki daralan kanala itilmesi sonucu yatakta hidrodinamik yağ basıncının oluştuğunu kanıtlamış ancak bu sonucun makine konstrüksiyonlarına uygulanabilmesi uzun bir süre almıştır.

Bununla ilgili olarak yapılan çok sayıdaki çalışma neticesinde yatak hesabının yapılabileceği gösterilmiş ve yağ filminde basınç oluşumunun Reynolds denklemi ile ifade edildiği şekilde olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, analitik çözüm her zaman mümkün olmadığından daha ziyade sayısal veya grafiksel çözüm yöntemleri kullanılmak suretiyle çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

Kaymalı yatak sistemleri ele alınırken, yatak genişliğinin yatak çapına oranına bağlı olarak sonsuz geniş yatak, dar yatak ve sonlu yatak şeklinde sınıflandırılabilirler.

Bunlar içerisinde gerçeğe en yakın sonuçlar, çalışmayı pratikte uygulanan boyutlar mertebesinde ele alan sonlu yataklarda elde edilmektedir. Bu yaklaşım ile elde edilen sonuçlar yatak tasarımcıları için daha kullanışlı olmaktadır.

Genel olarak, yapılan çalışmalarda hem lokma hem de kayıcının rijid olduğu kabul edilmekte ve bundan dolayı da deformasyona uğramadıkları öngörülmekteydi. Bununla birlikte rijid olduğu düşünülen yataklara ait hesaplama sonuçları ile yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçların birbirlerinden farklı olduğu görülmekteydi. Daha sonraki yıllarda (1960 sonrası) ise bu farklılığın nedeni olan deformasyon da dikkate alınarak hesaplama yapılması yoluna gidilmiştir. Bunun sonucu olarak yataklarda elastohidrodinamik (EHD) çalışmaları uygulanmaya başlamıştır.

Yukarıda bahsedilen yatak deformasyonu, lineer elastisite denklemleri ile Reynolds denklemi sayısal olarak (sonlu farklar yöntemi kullanılarak) uygun bir iteratif algoritma yardımıyla çözümlenerek bulunabilir.

Kaymalı yatakların ideal şekilde tasarlanabilmesi için tasarım esnasında yatak deformasyonunun ve yağın viskozite değişiminin dikkate alınması gereklidir. Özellikle deformasyonun yağ filmi kalınlığında olması durumunda bu durum büyük bir önem kazanır.

Elastohidrodinamik analiz için, rejim halinde bulunan yağ akış alanındaki basınç dağılımı ile yataktaki elastik deformasyona ait yağlama-elastisite denklemleri beraber çözümlenmelidir. Bunun yanı sıra, bu çözümlerin yapılabilmesi, çalışma alanına ait birçok kabul yapılmasını gerektirmektedir.

Yapılan bu çalışma kapsamında, yatak ve kayıcı malzemesi için çelik-çelik-çelik-bronz ve çelik-dökme demir malzeme çiftleri kullanılmıştır. Hesaplamalar esnasında yağ viskozitesinin basınçtan bağımsız olduğu (izo-viskoz) ve izo-termal şartların sözkonusu olduğu kabulü yapılmıştır.

2- KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elastohidrodinamik analizlerde temasın şekline göre noktasal, çizgisel ve yüzeysel temas meydana gelmektedir.

Literatürde noktasal ve çizgisel temaslara ait teorik ve deneysel pek çok çalışma mevcuttur. Bunun yanı sıra kaymalı yatak sistemlerinin EHD analizlerine ait çalışmalar sınırlıdır. Bununla birlikte ülkemizde de bu konuda yapılan çalışmalar oldukça azdır.

Lovell ve Deng (2000) disk üzerindeki pim tribometresini rijid ve deforme olabilir yüzeylerdeki kayma sürtünmesi katsayısını etkileyen çeşitli parametreleri araştırmak için kullanmışlardır. Sürtünme katsayısı değerlerini 561 farklı çalışma şartlarındaki durumlar için (çeşitli yağlayıcılar, değişik kayma hızları ve yükler için) bulmuşlardır.

Kudish (2000) düşük young modülüne sahip elastik malzemelerden yapılmış yatakların sayısal analizi ile ilgilenmiştir. Kudish elastik malzemelerden yapılmış yataklardaki lineer hızdan dolayı meydana gelen yüzey deformasyonunu ele alan klasik formülasyondan farklı bir formülasyon kullanmıştır. Reynolds denklemindeki yüzey doğrusal sabitleri, bölgesel temasta bulunan yer değiştirme fonksiyonları ile temsil edilmiştir. Bu yeni formülasyon yumuşak malzemelerde yüzey temasındaki önemli çökmeleri önceden bildirmektedir. Ayrıca çalışmasında, çökme miktarı boyutlarının problem parametrelerine bağımlılığını tanımlamıştır.

Okamoto (2000) yatak rijitliğinin yatak performansı ve eksenel yatakların elastik deformasyonu üzerindeki önemli etkilerini incelemiştir. Yatak rijitliğinin ve yatak boyutunun aynı anda (eş zamanlı) değişmesinin yatak performansı üzerine etkisini elastohidrodinamik yağlama teorisini kullanarak incelemiştir.

Osterle ve Saibel (1957) eksenel yatakların elastik deformasyonu ve yük taşıma kapasitesi arasındaki ilişki üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, düşük yatak yüklerinde kayıcı ve lokmanın mükemmel rijid kabul edilebileceğini ancak yük miktarı arttıkça bu kabulün geçersiz olduğunu göstermişlerdir. Osterle ve Saibel analizlerinde kayıcıyı mükemmel rijid kabul etmişler ve tüm deformasyonun sadece lokma yüzeyi üzerinde meydana geldiğini göstermişlerdir.

Ashour (1991) tarafından gerçekleştirilen analiz, yataktaki gerçek sınır şartlarını benzetmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada, serbest kenar sınır şartları uygulanmış ve

yay destekli lokmalar göz önünde bulundurulmuştur. Reynolds ve biharmonik eğilme denklemleri iteratif yöntem kullanılarak çözülmüştür.

Ashour (1991) elastik destek üzerindeki eksenel yatak lokmasının elastik deformasyonunu Reynolds ve elastisite denklemlerini eş zamanlı çözmek suretiyle belirleyebilecek bir matematik model üzerinde çalışmıştır. Bir izo-viskoz yağlayıcı için bir lokmadaki analizler verilmiştir. İstenilen hedef yüke öngörülen değiştirilmiş algoritma aracılığıyla ulaşabilmek amacıyla, film profilini yavaşça değiştirmek için, yükleme oranında yeni bir yaklaşım kullanılmıştır.

Koç (1990) tarafından geliştirilen teorik model, yağlayıcı filmdeki basınç dağılımını ve yük taşıma kapasitesini ayırıcı bir güç olarak hesaplama yeteneğine sahiptir. Analizi basitleştirmek adına belirli kabuller yapılmıştır.

Berger (1996) özellikle eksenel yatak davranışı ile şaftın eğilme titreşimleri arasındaki ilişki üzerinde çalışmıştır. Şaft, tipik çubuk sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenmiştir ve jiroskopik etkileri içermektedir. Yatağın dinamik davranışının non-lineer olduğu kabul edilmiştir. Dinamik davranış, geçici zaman integrasyonu prosedürü kullanılarak analiz edilmiştir.

Osman (1996) hidrostatik eksenel kaymalı yatakların performans karakteristiklerini belirlemek için deneysel bir çalışma sunmuştur. Yağ filmi kalınlığı, yatak cebi basıncı, basınç dağılımı ve yağ akış oranı gibi performans karakterlerinin değerleri ölçülmüştür. İteratif yöntem kullanan özel bir bilgisayar programı, sayısal olarak basınç dağılımını hesaplamak ve diğer performans karakterlerini önceden belirlemek için adapte edilmiştir. Tahmin edilen teorik performans ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum elde edilmiştir.

Biao (1993) tarafından yayınlanan bir çalışma, elastohidrodinamik yağlama problemlerinde yüzey elastik deformasyonlarını hesaplamak için basınç profilini oluşturacak yeni bir metot sunmaktadır ve yeni bir sayısal eliptik-paraboloid metot elde edilmiştir. Dowson-Hamrock ve bikuadratik metotların hesaplama doğruluğunu ve sayısal stabilitesini karşılaştırmak için yeni bir yöntem içermektedir. Sonuçlar eliptik-paraboloid metodun yüksek sayısal doğruluk ve daha iyi sayısal stabilite sağladığını işaret etmektedir.

Eksenel yatakların genel davranışları üzerine teorik bir analiz Kurban ve Yıldırım (2003) tarafından verilmiştir. Yağlama konusunda Reynolds denklemlerini

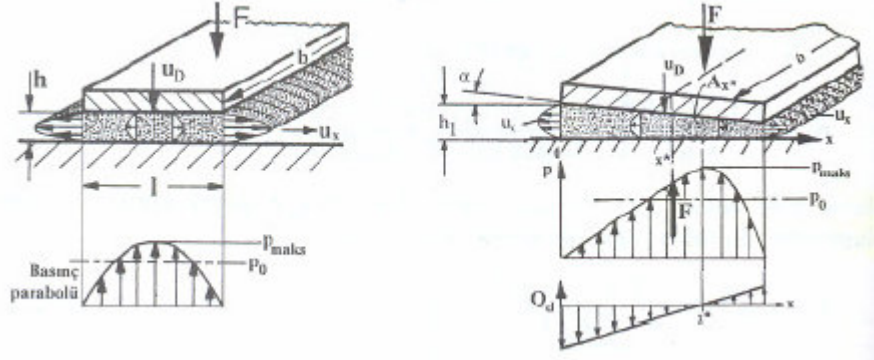
özme için sonlu farkların metot adaptasyonunu kullanan bir model program geliştirilmiştir. Eksenel yatağın hidrodinamik davranışı, çeşitli boyutsuz sistem basıncı, yatağın hız ve geometrisi de göz önüne alınarak analiz edilmiştir.

3- MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. YAĞLAMA TEORİSİ ve ELASTOHİDRODİNAMİK TEORİ

3.1.1. Yağlama Teorisi

Günümüzde kullanılmakta olan kaymalı yatakların büyük bir kısmını taşıyıcı yağ filminin yatak ile kayıcı arasındaki daralan aralıkta yüzeyleerin izafi hızından dolayı kendiliğinden oluştuğu hidrodinamik yataklar oluşturmaktadır. Yağ kama etkisinin (Şekil 3.1) bu fiziki olgusu ilk olarak 1883'li yılında Tower tarafından deneysel olarak bulundu. İngiliz fizikçisi Reynolds, bu konu üzerinde çalışmalar yaptı ve viskoz bir akışkan olan yağın dönen mile sanki yapışarak mil tarafından hareket ettirilmesi ve yağ katmanları arasındaki kayma gerilmesi nedeni ile mil ve yatak arasındaki daralan kanala itilmesi sonucu yatakta hidrodinamik yağ basıncının oluştuğunu kanıtlamıştı.



Şekil 3.1 Eğimli plakalar arasında oluşan yağ kama etkisi

Reynolds, 1886'da yayınlanmış bir çalışmasında, kaymalı yataktaki yağ akışının hidrodinamik (HD) esaslarla incelenebileceğini gösterdi.

Gümbel (1911,1925) de yaptığı çalışmalar neticesinde Reynolds'un elde ettiği bağıntılardan kaymalı yatakların pratik hesap ve dizaynında da yararlanılabileceğini belirtmişti.

Gümbel'in çalışmalarını inceleyen Falz (1926), bu çalışma sonuçlarını mühendis ve tasarımcılar için daha kullanışlı bir biçime soktu.

Gümbel'in çalışmalarından beri kaymalı yatakların hidrodinamik kanunlara göre hesabı, pek çok sayıdaki çalışmalarla pratik olarak doğrulanmış ve teorik olarak da birçok yatak şekilleri ile sınır şartları için incelenmiştir.

Günümüzde kaymalı yataklar için yağ filmi ve basıncı hidrodinamik ve termodinamik kanunlarla yardımıyla iyi bir şekilde analiz edilebilmektedir. Bununla birlikte çözüm esnasındaki matematik işlemler karmaşık olup daha ziyade -bu çalışma esnasında da kullanılan- sayısal veya grafiksel çözüme başvurulmaktadır.

3.1.2. Hidrodinamik Teori

Hidrodinamik kaymalı yatakta yağ, kayıcı ile yatak arasındaki izafi hızdan dolayı dönüş yönünde daralan bir aralığa itilmekte, bunun sonucu olarak yağda bir kama etkisi oluşmakta, bu da bir basınç ve dolayısıyla da bir kaldırma kuvveti oluşturmaktadır. Bununla birlikte oluşan basınç dağılımını çeşitli parametreler etkilemektedir (bağıl hız, viskozite, vs. gibi).

Kaymalı yataklarda yağın hareketi, akışkanlar mekaniğinden bilinen, çeşitli kaynaklarda da geniş bir şekilde yer alan viskoz akışkanların hareket denklemleri ile incelenebilir.

1. Navier-Stokes Denklemi:

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\text{grad } p + \eta \cdot \Delta v + \phi \quad (3.1)$$

2. Süreklilik Denklemi (sıkıştırılmayan ortam için):

$$\text{div} (\vec{v}) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.2)$$

3. Enerjinin Korunumu Prensibi:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{DT}{Dt} = \lambda \cdot \Delta T + \eta \cdot \phi \quad (3.3)$$

4. Isı İletim Denklemi:

$$\dot{q} = -\int \lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial n} dA \quad (3.4)$$

5. Yağın Hal Denklemi:

$$\eta = \eta(T, p) \quad (3.5)$$

Burada geçen ifadelerin anlamları şu şekildedir:

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| $\bar{v} = u.i + v.j + w.k$ | : | Yağ hızının vektörel ifadesi |
| i, j, k | : | Birim vektörler |
| u, v, w | : | Hızın x, y, z yönündeki bileşenleri |
| p | : | Yağ basıncı |
| t | : | Zaman |
| $\frac{D}{Dt}$ | : | Zamana göre toplam diferansiyel |
| η | : | Yağın dinamik viskozitesi |
| ρ | : | Yağın yoğunluğu |
| c | : | Yağın özgül ısısı |
| T | : | Yağ film sıcaklığı |
| ϕ | : | Disipasyon fonksiyonu (Sürtünme ile ısıya dönüşen enerji) |
| n | : | Yüzeye dik yöndeki normal vektör |
| A | : | Yatak alanı |

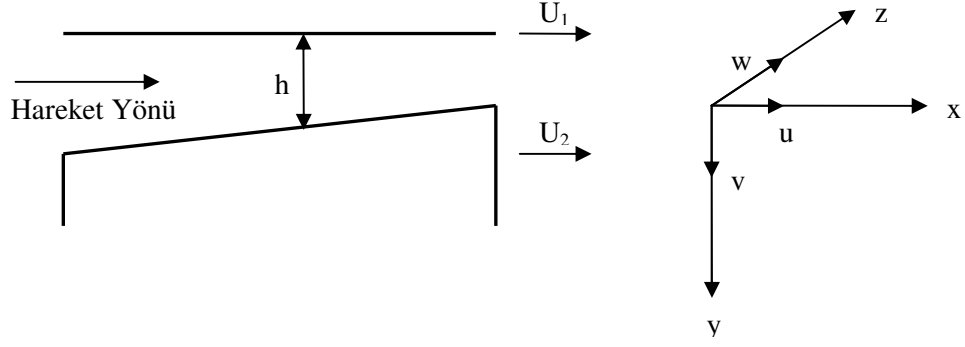
Yukarıda verilen deklemler sayesinde problem net bir şekilde ifade edilir.

Bu denklemlerin analitik çözümü mümkün olmamakla birlikte, sayısal çözüm çok zor ve kapsamlı işlemler gerektirmektedir. Bununla birlikte, kaymalı yatak hesapları için pratikte de kabul görmüş ve doğruluğu kanıtlanmış aşağıdaki kabuller yapılır:

1. $\eta \approx$ sabit (Her ne kadar zamanla yatak ısınıp, sıcaklıkla viskozite azalır da basıncın artmasıyla viskozitenin de artması bunu dengeler).
2. Atalet kuvvetleri sürtünme kuvvetlerinin yanına ihmal edilebilir.
3. Kayıcı ve yatağın birbirlerine temas yüzeyleri ideal pürüzsüzdür.
4. Yatak yüzeylerinin eğimleri azdır.Yağ filmi kalınlığı h 'nin çevresel yöndeki değişimi azdır.
5. Yatak içerisindeki yağın hızı küçük bir h aralığında U 'dan sıfıra düşmektedir. Yani, y-ekseni yönündeki hız gradyeni yüksek olup diğer eksenler yönündeki gradyenler bunun yanında ihmal edilebilir.
6. Birinci ve daha yüksek dereceli x ve z yönündeki hız gradyenleri y-yönündekine göre ihmal edilebilir.
7. Akışkana etkiyen dış kuvvetler (ağırlık) viskozite kuvvetlerinin yanında ihmal edilebilir.

8. Normal çalışma koşullarında yatak içerisindeki akış laminardır.
9. Akışkan ile yatak yüzeyleri arasında kayma yoktur.

Yatak içerisindeki koordinat eksenleri aşağıdaki gibidir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Yatak İçerisindeki Koordinat Sistemi

Bu kabuller esas alınarak Navier - Stokes denklemi:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (3.6)$$

$$\tau = \mu \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \text{ olduğundan} \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (3.10)$$

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial y} = - \frac{\partial(\rho \cdot u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho \cdot w)}{\partial z} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılır.

(3.8) denklemi y 'ye göre iki defa integre edilip ve sınır şartları olarak

$y = 0$ için $u = U_1$; $y = h$ için $u = U_2$ uygulanırsa,

$$u = \frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \cdot y \cdot (y-h) + \frac{h-y}{h} U_1 + \frac{y}{h} U_2 \quad (3.12)$$

hız denklemi bulunur. Yüzeylerin z-yönünde hareket etmediği kabul edilir ve (3.10) denklemi $y=0$ için $w=0$, $y=h$ için $w=0$ sınır şartlarında integre edilirse,

$$w = \frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \cdot y \cdot (y-h) \quad (3.13)$$

hız denklemi elde edilir. (3.11) denkleminde u ve w yerine (3.12) ve (3.13) ifadelerindeki değerleri yazılarak y'ye göre integre edilip $y=0$ için $v=V$, $y=h$ için $v=0$ sınır şartları konulup gerekli işlemler yapılırsa sıvı sürtünmesinin genel denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho \cdot h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho \cdot h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6 \cdot (U_1 - U_2) \cdot \frac{\partial(\rho \cdot h)}{\partial x} + 12 \cdot \rho \cdot V \quad (3.14)$$

şeklinde elde edilir. Bu denklem akışkan tabakasında oluşan basınç yayılışını en genel şekilde veren diferansiyel denklemdir. Buna göre akışkan tabakasındaki basınç :

- Akışkan tabakasının kalınlığına (h), akışkanın viskozitesine (μ) ve yoğunluğa (ρ);
- Akışkan tabakası kalınlığının veya yoğunluğunun yüzeylerin hareket yönüne göre değişmesine $\frac{\partial(\rho \cdot h)}{\partial x}$;
- Yüzeylerin x ve y doğrultularındaki ($U_1 - U_2$) ve V izafi hızlarına bağlıdır.

($U_1 - U_2$) yağ tabakasının uzunluğuna yani x-doğrultusuna, V ise yağ tabakasının dikine yani y-doğrultusuna göre izafi hızlardır. Yağ tabakasına normal olan V hızı aksenal yataklarda kayma yüzeylerinden birisinin bizzat bu yönde hareket etmesi ile sağlanır. Radyal yataklarda ise bu hız kayma yüzeylerinin açılma hareketine ve mil merkezinin hareketine bağlı olarak meydana gelebilir. Şöyle ki, mil merkezinin hareketinden oluşan radyal hız V_0 ile ifade edilirse radyal yataklar için (3.14) denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho \cdot h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho \cdot h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6 \cdot (U_1 - U_2) \cdot \frac{\partial(\rho \cdot h)}{\partial x} + 12 \cdot \rho \cdot V_0 \quad (3.14)$$

olarak yazılır.

Yukarıdaki denklem sıkıştırılmayan akışkanlar için (ρ =sabit) düzenlenirse,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6.(U_1 - U_2) \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + 12.V_0 \quad (3.15)$$

olarak yazılır.

Pratikte genellikle yatak sabit olduğuna göre $U_2 = 0$ olur. Radyal yataklarda milin hızı $U_1 = U = w.r$ olarak düşünülür ve mil merkezinin hareketi dolayısıyla oluşan radyal hız çok küçük olduğundan ihmal edilirse (3.15) denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6.U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.16)$$

olarak bulunur. Bunun yanı sıra yağ viskozitesinin sabit olduğu kabul edilirse, hidrodinamik sıvı sürtünmesinin genel denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6.U \cdot \mu \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.17)$$

şeklinde basit bir hal alır ve Reynolds denklemi adını taşır. Aynı denklem silindirik koordinatlarda;

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r h^3 \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) = 6U\mu \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (3.18)$$

şeklinde yazılır.

3.1.3. Elastohidrodinamik Yağlama Teorisi

Elastohidrodinamik yağlama kısaca “elastik deformasyonların hesaba katıldığı hidrodinamik yağlama” olarak tanımlanabilir.

Yüksek basıncın sözkonusu olduğu yerlerde EHD olayı belirgin bir şekilde kendini gösterir. Nokta, çizgi ve yüzey teması şeklinde gerçekleşen elastohidrodinamik deformasyonlara örnek olarak yuvarlanmalı yataklar (noktasal), dişli çarklar (çizgisel) ve çalışma konumuz olan kaymalı yataklar (yüzeysel) verilebilir.

Yüzeysel temaslardaki elastohidrodinamik deformasyonlar 1960’lı yıllardan sonra ele alınmaya başlamış, bunun sonucu olarak da bu konuda yapılan çalışmalar yetersiz kalmıştır. Ancak günümüzde teorik ve deneysel açıdan üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı bir konu olma özelliği göstermektedir.

3.1.3.1. Kaymalı Yataklarda EHD Olayının Ele Alınışı

Elastohidrodinamik yağlama konusu üzerinde son elli yıldan beri çalışılmakta olup olayın meydana gelme şekli yeni yeni anlaşılmaya başlanmıştır. Çalışma konumuzun da temelini oluşturan bu olayda, yağlanmış yüzeylerin temas anında yüksek basınç nedeniyle elastik şekil değiştirmeleri sözkonusudur.

Kaymalı yataklardaki EHD analizi, elastisite teorisindeki gerilme-şekil değiştirme bağıntıları ile hidrodinamiğin basınç dağılımını veren Reynolds denkleminin karşılıklı bir etkileşim içinde kullanılmasına dayanır.

Bu çalışmanın da konusunu oluşturan EHD analizi şu şekilde uygulanmaktadır:

Reynolds denklemi, yağ filmi kalınlığı yatak boyunca eğimle orantılı olduğu kabul edilerek çözülür. Bu sayede yataktaki basınç dağılımı elde edilmiş olur. Bu basınç dağılımı ve gerilme-şekil değiştirme (bünye) denklemleri yardımıyla elastik deformasyonlar hesaplanır. Elde edilen deformasyon miktarları başlangıçtaki yağ filmi kalınlığına ilave edilerek yeni yağ filmi kalınlığı elde edilir. Bu noktadan sonra işlemlere az önce anlatıldığı gibi devam edilerek işlem bir iterasyon haline getirilir. İterasyon işlemleri esnasında daha önceden belirlenen hata payı oranı sağlandığında elde edilen değerler nihai değerleri göstermektedir. Bu konu ilerleyen bölümlerde daha detaylı olarak ele alınmaktadır.

3.2. TEORİ ve PROBLEMİN MATEMATİK MODELİNİN KURULMASI

Bir EHD analizi, yağ akış alanındaki daimi hal basınç dağılımı ve yataktaki elastik deformasyona ait bütün yağlama ve elastisite eşitliklerinin beraber çözümünü gerektirir. Çalışma konusu kaymalı yatak olduğu için analiz daha kapsamlı ve hesaplama açısından fazla zaman alıcı hale gelmektedir. Bu çalışmada Reynolds denklemini ve elastisite denklemlerini çözmek için sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır.

3.2.1. Hidrodinamik Analizler

Akış alanına ait büyüklüklerden olan basınç ve sıcaklık dağılımı, viskozite değişimi ve hız, daha önce verilmiş olan eşitlikler yardımıyla bulunabilir. Bununla birlikte, çalışmada sıcaklık sabit kabul edildiğinden yağın hal denklemi sadece basınca bağlı olur (yağ filmi sıcaklığının cebri soğutma ile istenilen bir sıcaklık değerinde sabit tutulabileceği kabul edilmektedir). Bunun yanı sıra yağ filmi kalınlığının ise deformasyon öncesinde yatak genişliği boyunca eğimle orantılı olarak değiştiği kabul edilmektedir. Yağ basıncı nedeniyle kayıcı ve lokmada meydana gelecek olan deformasyonlar sonucu değişecek olan yağ filmi kalınlığı, deformasyon miktarlarının başlangıçtaki yağ film kalınlığına ilave edilmesiyle bulunmaktadır.

Kaymalı yataklar ile ilgi olarak daha önce yapılan kabuller çerçevesinde Reynolds denklemi silindirik koordinatlarda (3.18) denklemi ile,

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r h^3 \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) = 6U\mu \frac{\partial h}{\partial \theta}$$

şeklinde verilmişti.

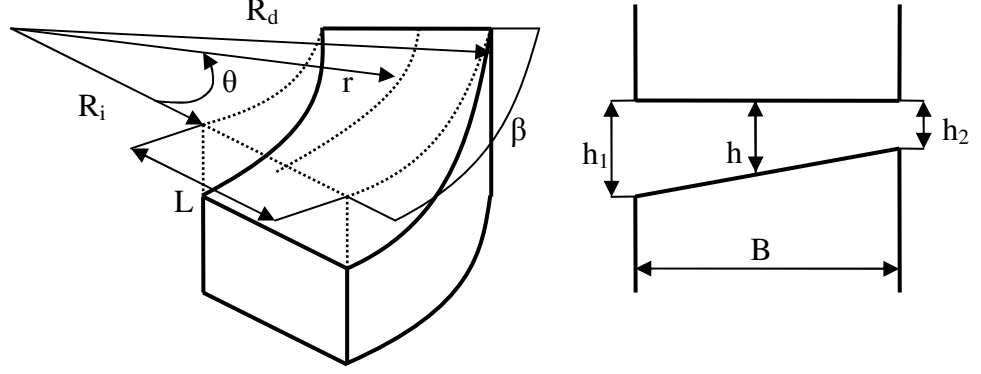
3.2.1.1. Reynolds Denkleminin Boyutsuzlaştırılması ve Çözülmesi

Daha önce elde edilen boyutlu haldeki Reynolds denklemi

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r h^3 \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) = 6U\mu \frac{\partial h}{\partial \theta}$$

şeklindeydi.

Reynolds diferansiyel denklemi, boyutsuz denklemler kullanmak suretiyle ele alınan probleme ait birtakım değerlerden bağımsız çalışmak mümkün olduğundan, aşağıda tanımlanan boyutsuzlaştırma parametreleri yardımıyla boyutsuz hale getirilir.



Şekil 3.3 Yatak geometrik ölçüleri

$$\bar{r} = \frac{r}{R_d}$$

$$\bar{h} = \frac{h}{\delta}$$

$$L = R_d - R_i$$

$$\delta = h_1 - h_2$$

(3.19)

$$h = h_2 + \delta \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)$$

$$U = 2\pi r N = 2\pi \bar{r} R_d N$$

$$\bar{P} = \frac{P}{\mu N} \left(\frac{\delta}{L} \right)^2$$

Bu ifadeler ana denklemde yerine konulursa,

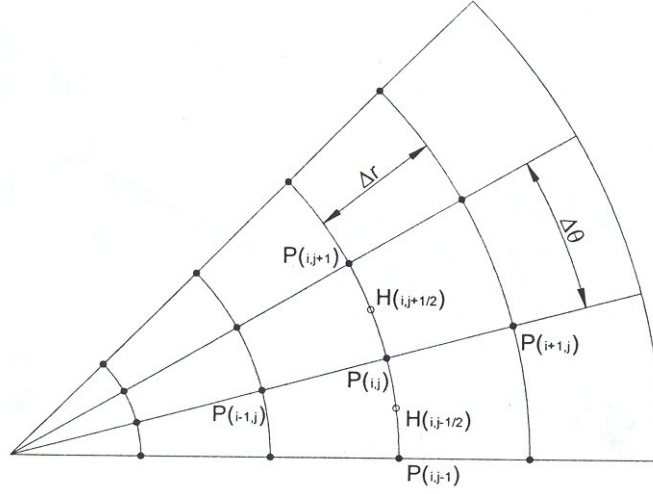
$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{r} R_d \delta^3 \bar{h}^3 \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{P} \mu N \left(\frac{L}{\delta} \right)^2 \right) \right) + \frac{1}{\bar{r} R_d} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\delta^3 \bar{h}^3 \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\bar{P} \mu N \left(\frac{L}{\delta} \right)^2 \right) \right) \\ & = 6.2 \pi \cdot R_d \bar{r} N \mu \frac{\partial}{\partial \theta} (\delta \bar{h}) \end{aligned} \quad (3.20)$$

Buradan da,

$$\frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{r} \bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} \right) + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \theta} \right) = 12 \pi \bar{r} \left(\frac{R_d}{L} \right)^2 \frac{\partial \bar{h}}{\partial \theta} \quad (3.21)$$

şeklinde boyutsuz hale getirilmiş olur.

Boyutsuz hale getirilmiş Reynolds diferansiyel denklemi sonlu farklar yöntemi kullanılarak iteratif hale getirilir. Bunun için yatak yüzeyi ağ yapısında bölünür (Şekil 3.4) ve bu ağ yapısındaki bir (i,j) noktası için sonlu fark formülü aşağıdaki gibi yazılır.



Şekil 3.4 İterasyon için yatak ağ yapısı

$$\begin{aligned} & h_{i,j}^3 r_{i+1} \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{\Delta r^2} - h_{i,j}^3 r_{i-1} \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_i} \left(h_{i,j+1/2}^3 \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{\Delta \theta^2} - h_{i,j-1/2}^3 \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta \theta^2} \right) \\ & = 12 \pi r_i \left(\frac{R_d}{L} \right)^2 \frac{h_{i,j+1/2} - h_{i,j-1/2}}{\Delta \theta} \end{aligned} \quad (3.22)$$

3.2.2. Yatak Deformasyon Analizi

Yataktaki deformasyon, temasın geniş bir yüzey şeklinde olmasından dolayı, bünye denklemleri kullanılarak elde edilir.

3.2.2.1. Bünye Denklemleri

Cisimde oluşan gerilme ve deformasyonlar ile buna neden olan dış etkiler arasındaki bağıntıyı gösteren ve malzemeye ait sabitleri içeren denklemlere bünye

denklemleri denmektedir. Deformasyon alanlarının hesaplanmasını mümkün kılan bu denklemler sürekli ortamlar mekaniğinden bilinen elastisite denklemleridir.

Sıkışabilir ve lineer elastik bir malzeme için bünye denklemi:

$$\tau_{kl} = \lambda \varepsilon_{ii} \delta_{kl} + 2\mu \varepsilon_{kl} \quad (3.23)$$

olarak verilmektedir. Burada: δ_{kl} : Kronecker deltası, ε_{kl} : birim şekil değiştirme tansörüdür. Burada, $u = (r, \theta, z)$ radyal, $v = (r, \theta, z)$ teğetsel, $w = (r, \theta, z)$ aksenal doğrultudaki yer değiştirmeleri alarak en genel şekilde deformasyon hesaplanmak istenmektedir. Bu durumda ε_{kl} tansörünün silindirik koordinatlardaki bileşenleri aşağıda yazıldığı gibidir.

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \\ \mu &= \frac{E}{2(1 + \nu)} = G \\ \varepsilon_r &= \frac{\partial u}{\partial r} \\ \varepsilon_\theta &= \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} \\ \gamma_{r\theta} &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) \\ \gamma_{rz} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) \\ \gamma_{\theta z} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) \end{aligned} \quad (3.24)$$

(3.24)'teki ifadeleri (3.23) ifadesinde kullanarak gerilme tansörü bileşenleri açık olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} \sigma_r &= (\lambda + 2\mu)\varepsilon_r + \lambda(\varepsilon_\theta + \varepsilon_z) \\ \sigma_\theta &= (\lambda + 2\mu)\varepsilon_\theta + \lambda(\varepsilon_r + \varepsilon_z) \\ \sigma_z &= (\lambda + 2\mu)\varepsilon_z + \lambda(\varepsilon_r + \varepsilon_\theta) \\ \tau_{r\theta} &= 2\mu\gamma_{r\theta} \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\tau_{rz} = 2\mu\gamma_{rz}$$

$$\tau_{\theta z} = 2\mu\gamma_{\theta z}$$

Genel halde,

$$\tau_{kl,k} + \rho f_l = \rho \ddot{u}_l \quad (3.26)$$

şeklinde ifade edilen denge denklemi, problemde kütle kuvveti olmadığı ($f_l=0$) ve problem statik bir problem olduğundan ($\ddot{u}_l=0$),

$$\tau_{kl,k} = 0 \quad (3.27)$$

ifadesine indirgenir. Bu durumda (3.27) ifadesi silindirik koordinatlarda açık olarak,

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{1}{r} (\sigma_r - \sigma_\theta) = 0 \quad (i)$$

$$\frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} + \frac{2}{r} \tau_{r\theta} = 0 \quad (ii) \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0 \quad (iii)$$

şeklinde yazılır. (3.24) ve (3.25) ifadelerindeki gerilme bileşenleri (3.28)'deki denklemlerde yerlerine konulduğunda ifadeler şu hale gelir:

$$(i) \quad \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{1}{r} (\sigma_r - \sigma_\theta) = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial r} [(\lambda + 2\mu)\epsilon_r + \lambda(\epsilon_\theta + \epsilon_z)] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (2\mu\gamma_{r\theta}) + \frac{\partial}{\partial z} (2\mu\gamma_{rz}) \\ & + \frac{1}{r} [(\lambda + 2\mu)\epsilon_r + \lambda(\epsilon_\theta + \epsilon_z) - (\lambda + 2\mu)\epsilon_\theta - \lambda(\epsilon_r + \epsilon_z)] = 0 \end{aligned}$$

olup,

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial r} \left[(\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial r} + \lambda \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + \frac{\mu}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) \\ & + \mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{2\mu}{r} \left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) = 0 \end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
& (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \theta} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial z} + \frac{\lambda + 2\mu}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \\
& - \frac{3\mu}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{2\mu u}{r^2} = 0
\end{aligned} \tag{3.29}$$

elde edilir.

$$(ii) \quad \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} + \frac{2}{r} \tau_{r\theta} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial r} (2\mu \gamma_{r\theta}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} [(\lambda + 2\mu) \varepsilon_\theta + \lambda(\varepsilon_r + \varepsilon_z)] + \frac{\partial}{\partial z} (2\mu \gamma_{\theta z}) + \frac{2}{r} (2\mu \gamma_{r\theta}) = 0$$

olup,

$$\begin{aligned}
& \mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[(\lambda + 2\mu) \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + \\
& + \mu \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) + \frac{2\mu}{r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
& \mu \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{\lambda + 2\mu}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial \theta} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta \partial z} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \\
& + \frac{\lambda + 4\mu}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{2\mu v}{r^2} = 0
\end{aligned} \tag{3.30}$$

elde edilir.

$$(iii) \quad \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial r} (2\mu \gamma_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (2\mu \gamma_{\theta z}) + \frac{\partial}{\partial z} [(\lambda + 2\mu) \varepsilon_z + \lambda(\varepsilon_r + \varepsilon_\theta)] + \frac{1}{r} (2\mu \gamma_{rz}) = 0$$

olup,

$$\begin{aligned}
& \mu \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\mu}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[(\lambda + 2\mu) \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial u}{\partial r} \right) \right] \\
& + \frac{\mu}{r} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned} & \mu \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial z} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta \partial z} \\ & + \frac{\mu}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \end{aligned} \quad (3.31)$$

elde edilir.

Yukarıda bulunan (3.29), (3.30) ve (3.31) denklemlerinin problemin çözümünde kullanabilmesi için denklemlerin sonlu fark ifadeleri şeklinde yazılması gerekmektedir. Bunun için kullanılacak sonlu fark formülleri şunlardır:

1.türev için ileri ve geri sonlu fark formülleri:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{i,j,k} = \frac{-u_{i+2,j,k} + 4u_{i+1,j,k} - 3u_{i,j,k}}{2\Delta r}, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{i,j,k} = \frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i-1,j,k} + u_{i-2,j,k}}{2\Delta r} \quad (3.32)$$

1.türev için merkezi sonlu fark formülü:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{i,j,k} = \frac{u_{i+1,j,k} - u_{i-1,j,k}}{2\Delta r} \quad (3.33)$$

2.türev için merkezi sonlu fark formülü:

$$\left. \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial \theta} \right|_{i,j,k} = \frac{u_{i+1,j+1,k} + u_{i-1,j-1,k} - u_{i-1,j+1,k} - u_{i+1,j-1,k}}{4\Delta r \Delta \theta} \quad (3.34)$$

(3.32), (3.33) ve (3.34) ifadelerinin (3.29), (3.30) ve (3.31) denklemlerinde gerekli yerlere yazılması durumunda ifadeler aşağıdaki hale gelecektir.

(3.29) denklemi şu şekilde idi:

$$\begin{aligned} & (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \theta} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial z} + \frac{\lambda + 2\mu}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \\ & - \frac{3\mu}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{2\mu u}{r^2} = 0 \end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
& (\lambda + 2\mu) \frac{u_{i+1,j,k} - 2u_{i,j,k} + u_{i-1,j,k}}{\Delta r^2} + \frac{\mu}{r_i^2} \frac{u_{i,j+1,k} - 2u_{i,j,k} + u_{i,j-1,k}}{\Delta \theta^2} \\
& + \mu \frac{u_{i,j,k+1} - 2u_{i,j,k} + u_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} + \frac{\lambda + \mu}{r_i} \frac{v_{i+1,j+1,k} + v_{i-1,j-1,k} - v_{i-1,j+1,k} - v_{i+1,j-1,k}}{4\Delta r \Delta \theta} \\
& + (\lambda + \mu) \frac{w_{i+1,j,k+1} + w_{i-1,j,k-1} - w_{i-1,j,k+1} - w_{i+1,j,k-1}}{4\Delta r \Delta z} \\
& + \frac{\lambda + 2\mu}{r_i} \frac{u_{i+1,j,k} - u_{i-1,j,k}}{2\Delta r} - \frac{3\mu}{r_i^2} \frac{v_{i,j+1,k} - v_{i,j-1,k}}{2\Delta \theta} - \frac{2\mu u_{i,j,k}}{r_i^2} = 0
\end{aligned} \tag{3.35}$$

elde edilir.

(3.30) denklemi şu şekildeydi:

$$\begin{aligned}
& \mu \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{\lambda + 2\mu}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial \theta} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta \partial z} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \\
& + \frac{\lambda + 4\mu}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{2\mu v}{r^2} = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
& \mu \frac{v_{i+1,j,k} - 2v_{i,j,k} + v_{i-1,j,k}}{\Delta r^2} + \frac{\lambda + 2\mu}{r_i^2} \frac{v_{i,j+1,k} - 2v_{i,j,k} + v_{i,j-1,k}}{\Delta \theta^2} \\
& + \mu \frac{v_{i,j,k+1} - 2v_{i,j,k} + v_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} + \frac{\lambda + \mu}{r_i} \frac{u_{i+1,j+1,k} + u_{i-1,j-1,k} - u_{i-1,j+1,k} - u_{i+1,j-1,k}}{4\Delta r \Delta \theta} \\
& + \frac{\lambda + \mu}{r_i} \frac{w_{i,j+1,k+1} + w_{i,j-1,k-1} - w_{i,j+1,k-1} - w_{i,j-1,k+1}}{4\Delta \theta \Delta z} + \frac{\mu}{r_i} \frac{v_{i+1,j,k} - v_{i-1,j,k}}{2\Delta r} \\
& + \frac{\lambda + 4\mu}{r_i^2} \frac{u_{i,j+1,k} - u_{i,j-1,k}}{2\Delta \theta} - \frac{2\mu v_{i,j,k}}{r_i^2} = 0
\end{aligned} \tag{3.36}$$

elde edilir.

(3.31) denklemi şu şekildeydi:

$$\begin{aligned}
& \mu \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial z} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta \partial z} \\
& + \frac{\mu}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial u}{\partial z} = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
& \mu \frac{w_{i+1,j,k} - 2w_{i,j,k} + w_{i-1,j,k}}{\Delta r^2} + \frac{\mu}{r_i^2} \frac{w_{i,j+1,k} - 2w_{i,j,k} + w_{i,j-1,k}}{\Delta \theta^2} \\
& + (\lambda + 2\mu) \frac{w_{i,j,k+1} - 2w_{i,j,k} + w_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \\
& + (\lambda + \mu) \frac{u_{i+1,j,k+1} + u_{i-1,j,k-1} - u_{i+1,j,k-1} - u_{i-1,j,k+1}}{4\Delta r \Delta z} \\
& + \frac{\lambda + \mu}{r_i} \frac{v_{i,j+1,k+1} + v_{i,j-1,k-1} - v_{i,j+1,k-1} - v_{i,j-1,k+1}}{4\Delta \theta \Delta z} \\
& + \frac{\mu}{r_i} \frac{w_{i+1,j,k} - w_{i-1,j,k}}{2\Delta r} + \frac{\lambda + \mu}{r_i} \frac{u_{i,j,k+1} - u_{i,j,k-1}}{2\Delta z} = 0
\end{aligned} \tag{3.37}$$

elde edilir.

Bu şekilde denklemler sonlu farklarla ifade edilmiş olurlar.

3.2.2.2. Sınır Şartları

Çalışmada, hem lokma hem de şaft (kayıcı) için sınır şartlarının yazılması gerekmektedir. Sınır şartları ilk önce lokma, ardından da şaft için yazılacaktır.

Problemde ele alınan bir lokma için 6 yüzeyindeki sınır şartları şu şekildedir:

- i. Lokma alt yüzeyinde ($z = 0$) lokma yatağa bağlı olduğu için buradaki yer değiştirme değerleri sıfırdır.

$$u(r, \theta, 0) = v(r, \theta, 0) = w(r, \theta, 0) = 0$$

- ii. lokma üst yüzeyinde ($z = h$) $-z$ yönünde yayılı bir basınç kuvveti vardır ve aynı yüzeyde kayma gerilmeleri sıfırdır.

$$\sigma_z(r, \theta, h) = -P$$

$$\tau_{\theta z}(r, \theta, h) = \tau_{rz}(r, \theta, h) = 0$$

- iii. Lokma iç yüzeyinde ($r = R_i$) tüm gerilme değerleri sıfırdır.

$$\sigma_r(R_i, \theta, z) = \tau_{r\theta}(R_i, \theta, z) = \tau_{rz}(R_i, \theta, z) = 0$$

- iv. Lokma dış yüzeyinde ($r = R_d$) tüm gerilme değerleri sıfırdır.

$$\sigma_r(R_d, \theta, z) = \tau_{r\theta}(R_d, \theta, z) = \tau_{rz}(R_d, \theta, z) = 0$$

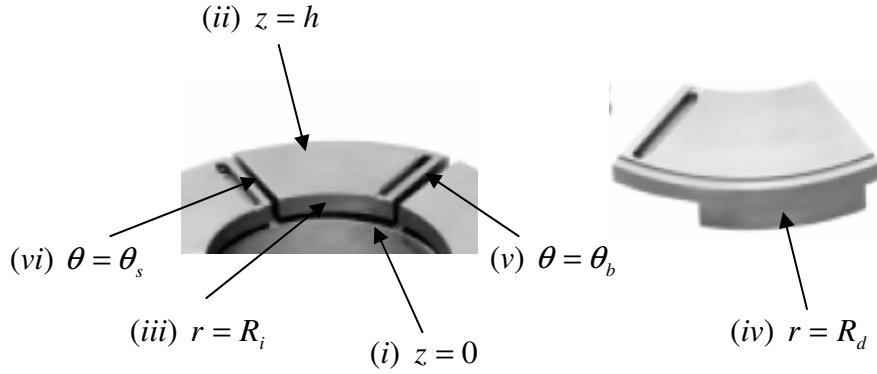
- v. Lokma sağ yüzeyinde ($\theta = \theta_b$) tüm gerilme değerleri sıfırdır.

$$\sigma_\theta(r, \theta_b, z) = \tau_{r\theta}(r, \theta_b, z) = \tau_{\theta z}(r, \theta_b, z) = 0$$

vi. Lokma sol yüzeyinde ($\theta = \theta_s$) tüm gerilme değerleri sıfırdır.

$$\sigma_\theta(r, \theta_s, z) = \tau_{r\theta}(r, \theta_s, z) = \tau_{\theta z}(r, \theta_s, z) = 0$$

Lokmaya ait bahsi geçen yüzeyler, benzer bir hidrodinamik aksenal kaymalı yatak lokması üzerinde Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Lokmaya ait yüzeyler

Bu yazılan sınır şartlarının çalışmada kullanılabilmesi için sonlu fark ifadeleri şeklinde yazılmaları gerekmektedir.

i. $z = 0$

$$u(r, \theta, 0) = 0 \quad (3.38)$$

$$v(r, \theta, 0) = 0 \quad (3.39)$$

$$w(r, \theta, 0) = 0 \quad (3.40)$$

ii. $z = h$

$$\sigma_z(r, \theta, h) = -P, \text{ yani}$$

$$(\lambda + 2\mu)\varepsilon_z + \lambda(\varepsilon_r + \varepsilon_\theta) = -P \text{ ya da}$$

$$(\lambda + 2\mu)\frac{\partial w}{\partial z} + \lambda\left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial \theta}\right) = -P \text{ olur.}$$

Bu sonlu farklar ile

$$\begin{aligned}
& (\lambda + 2\mu) \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j,k-1} + w_{i,j,k-2}}{2\Delta z} \\
& + \lambda \left(\frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i-1,j,k} + u_{i-2,j,k}}{2\Delta r} + \frac{u_{i,j,k}}{r_i} \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j-1,k} + v_{i,j-2,k}}{2\Delta\theta} \right) = -P(i, j)
\end{aligned} \tag{3.41}$$

şeklinde yazılır.

$$\tau_{\theta z}(r, \theta, h) = 0 \text{ idi. Yani,}$$

$$2\mu\gamma_{\theta z} = 0 \text{ veya}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) = 0$$

Bu sonlu farklar ile,

$$\frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j,k-1} + v_{i,j,k-2}}{2\Delta z} + \frac{1}{r_i} \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j-1,k} + w_{i,j-2,k}}{2\Delta\theta} = 0 \tag{3.42}$$

şeklinde yazılır.

$$\tau_{rz}(r, \theta, h) = 0 \text{ idi. Yani,}$$

$$2\mu\gamma_{rz} = 0 \text{ veya}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0$$

Bu sonlu farklar ile

$$\frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i,j,k-1} + u_{i,j,k-2}}{2\Delta z} + \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i-1,j,k} + w_{i-2,j,k}}{2\Delta r} = 0 \tag{3.43}$$

şeklinde yazılır.

$$\text{iii. } r = R_i$$

$$\sigma_r(R_i, \theta, z) = 0 \text{ , yani,}$$

$$(\lambda + 2\mu)\epsilon_r + \lambda(\epsilon_\theta + \epsilon_z) = 0 \text{ ya da}$$

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial r} + \lambda \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \text{ demektir.}$$

Bunun sonlu farklarla ifadesi

$$\begin{aligned}
& (\lambda + 2\mu) \frac{-u_{i+2,j,k} + 4u_{i+1,j,k} - 3u_{i,j,k}}{2\Delta r} \\
& + \lambda \left(\frac{u_{i,j,k}}{r_i} + \frac{1}{r_i} \frac{-v_{i,j+2,k} + 4v_{i,j+1,k} - 3v_{i,j,k}}{2\Delta\theta} + \frac{-w_{i,j,k+2} + 4w_{i,j,k+1} - 3w_{i,j,k}}{2\Delta z} \right) = 0
\end{aligned} \tag{3.44}$$

şeklindedir.

$$\tau_{r\theta}(R_i, \theta, z) = 0 \text{ idi. Yani,}$$

$$2\mu\gamma_{r\theta} = 0 \text{ veya}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) = 0 \text{ olup, bunun sonlu farklarla ifadesi,}$$

$$\frac{1}{r_i} \frac{-u_{i,j+2,k} + 4u_{i,j+1,k} - 3u_{i,j,k}}{2\Delta\theta} + \frac{-v_{i+2,j,k} + 4v_{i+1,j,k} - 3v_{i,j,k}}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}}{r_i} = 0 \tag{3.45}$$

şeklindedir.

$$\tau_{rz}(R_i, \theta, z) = 0 \text{ idi. Yani,}$$

$$2\mu\gamma_{rz} = 0 \text{ veya}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0 \text{ demektir ve bunun sonlu farklarla yazılımı}$$

$$\frac{-u_{i,j,k+2} + 4u_{i,j,k+1} - 3u_{i,j,k}}{2\Delta z} + \frac{-w_{i+2,j,k} + 4w_{i+1,j,k} - 3w_{i,j,k}}{2\Delta r} = 0 \tag{3.46}$$

şeklindedir.

$$\text{iv. } r = R_d$$

$$\sigma_r(R_d, \theta, z) = 0 \text{ yani,}$$

$$(\lambda + 2\mu)\epsilon_r + \lambda(\epsilon_\theta + \epsilon_z) = 0 \text{ veya}$$

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial r} + \lambda \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \text{ olur. Bu sonlu farklarla}$$

$$\begin{aligned}
& (\lambda + 2\mu) \frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i-1,j,k} + u_{i-2,j,k}}{2\Delta r} \\
& + \lambda \left(\frac{u_{i,j,k}}{r_i} + \frac{1}{r_i} \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j-1,k} + v_{i,j-2,k}}{2\Delta\theta} + \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j,k-1} + 3w_{i,j,k-2}}{2\Delta z} \right) = 0
\end{aligned} \tag{3.47}$$

şeklinde yazılır.

$\tau_{r\theta}(R_d, \theta, z) = 0$ idi. Yani,

$2\mu\gamma_{r\theta} = 0$ ya da

$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) = 0$ olup sonlu farklarla

$$\frac{1}{r_i} \frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i,j-1,k} + u_{i,j-2,k}}{2\Delta\theta} + \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i-1,j,k} + v_{i-2,j,k}}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}}{r_i} = 0 \quad (3.48)$$

şeklinde yazılır.

$\tau_{rz}(R_d, \theta, z) = 0$ idi. Yani,

$2\mu\gamma_{rz} = 0$ veya

$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0$ olup sonlu farklarla yazılımı

$$\frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i,j,k-1} + u_{i,j,k-2}}{2\Delta z} + \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i-1,j,k} + w_{i-2,j,k}}{2\Delta r} = 0 \quad (3.49)$$

şeklindedir.

v. $\theta = \theta_b$

$\sigma_\theta(r, \theta_b, z) = 0$ şeklindeydi. Bu,

$(\lambda + 2\mu)\epsilon_\theta + \lambda(\epsilon_r + \epsilon_z) = 0$ ya da

$(\lambda + 2\mu) \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$ olup bunun sonlu farklar ile ifadesi

$$\begin{aligned} & (\lambda + 2\mu) \left(\frac{u_{i,j,k}}{r_i} + \frac{1}{r_i} \frac{-v_{i,j+2,k} + 4v_{i,j+1,k} - 3v_{i,j,k}}{2\Delta\theta} \right) \\ & + \lambda \left(\frac{-u_{i+2,j,k} + 4u_{i+1,j,k} - 3u_{i,j,k}}{2\Delta r} + \frac{-w_{i,j,k+2} + 4w_{i,j,k+1} - 3w_{i,j,k}}{2\Delta z} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.50)$$

şeklindedir.

$\tau_{r\theta}(r, \theta_b, z) = 0$ idi. Yani,

$2\mu\gamma_{r\theta} = 0$ ya da

$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) = 0$ olacaktır. Bunun sonlu farklarla yazılımı,

$$\frac{1}{r_i} \frac{-u_{i,j+2,k} + 4u_{i,j+1,k} - 3u_{i,j,k}}{2\Delta\theta} + \frac{-v_{i+2,j,k} + 4v_{i+1,j,k} - 3v_{i,j,k}}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}}{r_i} = 0 \quad (3.51)$$

şeklindedir.

$$\tau_{\theta z}(r, \theta_b, z) = 0 \text{ idi. Yani,}$$

$$2\mu\gamma_{\theta z} = 0 \text{ veya}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) = 0 \text{ demektir. Bunun sonlu fark ifadeleriyle yazılımı,}$$

$$\frac{-v_{i,j,k+2} + 4v_{i,j,k+1} - 3v_{i,j,k}}{2\Delta z} + \frac{1}{r_i} \frac{-w_{i,j+2,k} + 4w_{i,j+1,k} - 3w_{i,j,k}}{2\Delta\theta} = 0 \quad (3.52)$$

şeklindedir.

$$\text{vi. } \theta = \theta_s$$

$$\sigma_{\theta}(r, \theta_s, z) = 0 \text{ şeklindeydi. Yani,}$$

$$(\lambda + 2\mu)\epsilon_{\theta} + \lambda(\epsilon_r + \epsilon_z) = 0 \text{ ya da}$$

$$(\lambda + 2\mu) \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \text{ olup bunun sonlu farklarla ifadesi,}$$

$$\begin{aligned} & (\lambda + 2\mu) \left(\frac{u_{i,j,k}}{r_i} + \frac{1}{r_i} \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j-1,k} + v_{i,j-2,k}}{2\Delta\theta} \right) \\ & + \lambda \left(\frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i-1,j,k} + u_{i-2,j,k}}{2\Delta r} + \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j,k-1} + 3w_{i,j,k-2}}{2\Delta z} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.53)$$

şeklindedir.

$$\tau_{r\theta}(r, \theta_s, z) = 0 \text{ idi. Yani,}$$

$$2\mu\gamma_{r\theta} = 0 \text{ ya da}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) = 0 \text{ olup bunun sonlu farklarla yazılımı,}$$

$$\frac{1}{r_i} \frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i,j-1,k} + u_{i,j-2,k}}{2\Delta\theta} + \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i-1,j,k} + v_{i-2,j,k}}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}}{r_i} = 0 \quad (3.54)$$

şeklindedir.

$$\tau_{\theta z}(r, \theta_s, z) = 0 \text{ idi. Yani,}$$

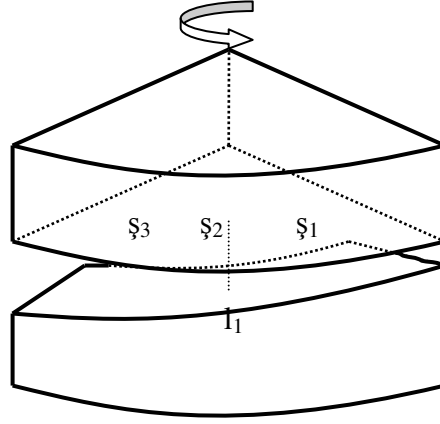
$$2\mu\gamma_{\theta z} = 0 \text{ veya}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) = 0 \text{ şeklinde olup bu ifadenin sonlu farklar ile yazılımı,}$$

$$\frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j,k-1} + v_{i,j,k-2}}{2\Delta z} + \frac{1}{r_i} \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j-1,k} + w_{i,j-2,k}}{2\Delta \theta} = 0 \quad (3.55)$$

şeklinde olmaktadır.

Çalışmada şaftta ait sınır şartlarını yazmadan önce birkaç açıklama yapmak uygun olacaktır.



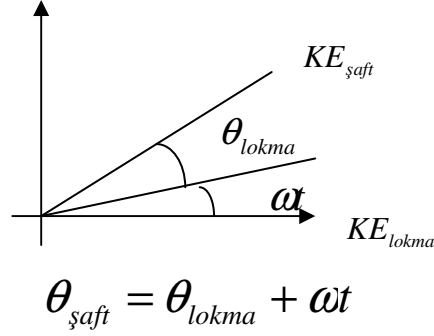
Şekil 3.6 Şaftın hareketi

Şekil 3.6'daki gibi şaftın belirtilen yönde dönmesi esnasında, lokma üzerindeki bir I_1 noktasına z-ekseni doğrultusunda şaft üzerinde karşılık gelen noktalar sırasıyla Ş_1 , Ş_2 ve Ş_3 olsun (bunlar aynı doğrultu üzerinde birbirini izleyen noktalardır). ω açısal hız, t zaman ve θ da açı değeri olmak üzere, böyle bir durumda şaft üzerindeki herhangi bir noktanın lokmaya bağlı olarak açısal değeri,

$$\theta_{\text{şaft}} = \theta_{\text{lokma}} + \omega t \quad (3.56)$$

olacaktır (Şekil 3.7). Bununla birlikte lokma üzerindeki I_1 noktasının deformasyonu dönme hareketi esnasında sürekli aynı kalırken (lokma hareket etmediğinden), şaft üzerinde bu noktaya karşılık gelen noktaların hareket esnasında deformasyon değerleri sürekli değişken olacaktır. Yani, Ş_3 noktası bir sonraki adımda (t süre sonra) Ş_2 noktasının yerini aldığı anda deformasyonu sabit kalmayıp değişecektir. Bununla birlikte Ş_2 noktasının yerini aldığı anda (t anında), deformasyonu Ş_2 noktasının ($t = 0$ anındaki) deformasyonuna eşit olacaktır. Bundan dolayı da lokma üzerindeki belli bir noktaya şaft

üzerinde karşılık gelen noktanın deformasyonu sürekli değişecek, ancak şaft üzerindeki bu noktanın deformasyonu lokmada olduğu gibi sürekli sabit kalacaktır. Bu nedenle de sistem statik olarak kabul edilebilmekte ve çözümler ona göre yapılabilmektedir.



Şekil 3.7 Şaftın lokmaya göre hareketi

Bu açıklamaları yaptıktan sonra şaft (kayıcı) için sınır şartlarını şu şekilde verebiliriz:

- i. Şaft taban yüzeyinde ($z = 0$) yer değiştirme değerleri sıfırdır.

$$u(r, \theta, 0) = v(r, \theta, 0) = w(r, \theta, 0) = 0$$

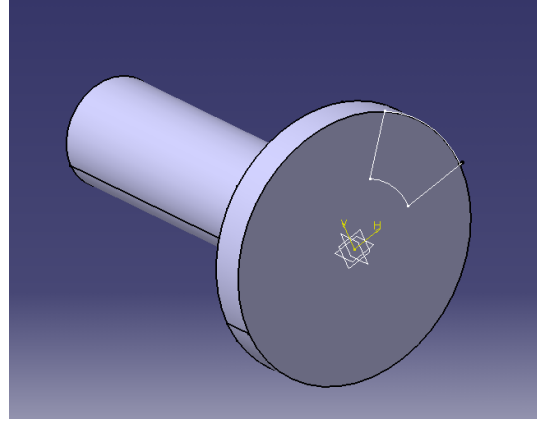
- ii. Şaft dış yüzeyinde ($r = R_d$) tüm gerilme değerleri sıfırdır.

$$\sigma_r(R_d, \theta, z) = \tau_{r\theta}(R_d, \theta, z) = \tau_{rz}(R_d, \theta, z) = 0$$

- iii. Şaft üst (yağ ile temas eden) yüzeyinde ($z = h$) sadece lokmanın şaft üzerine izdüşümü olan alana basınç etkimektedir, bu alan dışındaki yerlerde basınç sıfırdır.

Şaft üzerindeki çalışma alanı Şekil 3.8'den görülebilir.

iii. nolu sınır şartının anlaşılabilirliğini artırmak için Heaviside birim basamak fonksiyonu kullanılabilir. Tanımlandığı aralıkta birim basamak değeri veren bu fonksiyonla ilgili ayrıntılı bilgi EK-2'de verilmektedir. Burada bu fonksiyon kullanılarak çalışma alanının nasıl tanımlanabileceği gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Şaft üzerindeki çalışma alanı

n lokma sayısı, θ açı değeri, β lokma açısı ve γ ardışık iki lokma arasındaki boşluk açısı olarak tanımlanmak suretiyle (Şekil 3.9), çevresel ve radyal yönlerdeki Heaviside fonksiyonları şu şekilde tanımlanabilir:

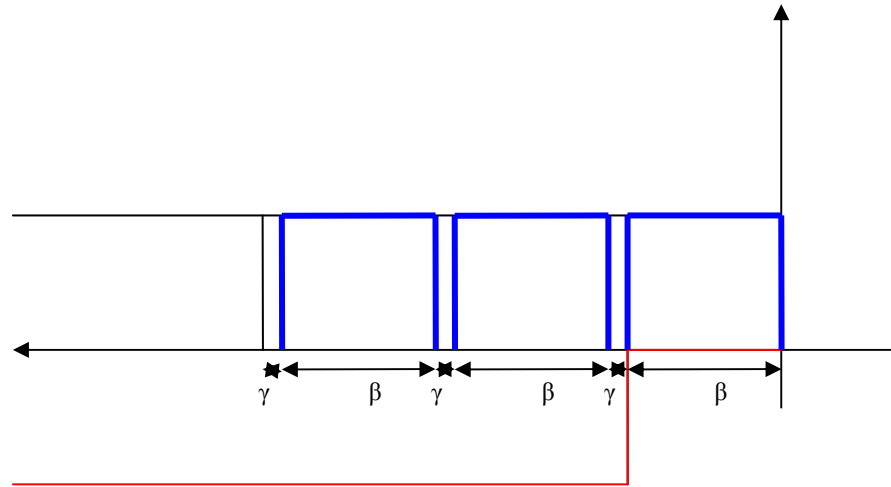
$0 < \theta < \beta$ olmak üzere çevresel (θ) yöndeki basınç alanı,

$$\begin{aligned} & [H(\theta) - H(\theta - \beta)]P(r, \theta) + [H(\theta - (\beta + \gamma)) - H(\theta - (2\beta + \gamma))]P(r, \theta) \\ & + [H(\theta - (2\beta + 2\gamma)) - H(\theta - (3\beta + 2\gamma))]P(r, \theta) + \dots \end{aligned} \quad (3.57)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan ifade genelleştirilerek,

$$\left[\sum_{i=1}^n [H(\theta - (i-1)\beta - (i-1)\gamma)] - [H(\theta - i\beta - (i-1)\gamma)] \right] * P(r, \theta) \quad (3.58)$$

şeklini alır.



Şekil 3.9 Heaviside fonksiyonu

Radyal doğrultudaki basınç alanı ise $R_i < r < R_d$ olmak üzere,

$$[H(r - R_i) - H(r - R_d)] * P(r, \theta) \quad (3.59)$$

şeklinde tanımlanır. Bu durumda çalışma alanını tamamen tanımlayacak olan ifade şudur :

$$\left[\sum_{i=1}^n [H(\theta - (i-1).\beta - (i-1).\gamma)] - [H(\theta - i.\beta - (i-1).\gamma)] \right] * [H(r - R_i) - H(r - R_d)] * P(r, \theta) \quad (3.60)$$

Şaft için yazılan sınır şartlarının da lokmada olduğu gibi sonlu farklar ile ifade edilmeleri gerekmektedir.

i. $z = 0$

$$u(r, \theta, 0) = 0 \quad (3.61)$$

$$v(r, \theta, 0) = 0 \quad (3.62)$$

$$w(r, \theta, 0) = 0 \quad (3.63)$$

ii. $r = R_d$

$$\sigma_r(R_d, \theta, z) = 0 \quad \text{yani,}$$

$$(\lambda + 2\mu)\epsilon_r + \lambda(\epsilon_\theta + \epsilon_z) = 0 \quad \text{veya}$$

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial r} + \lambda \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{olur. Bu sonlu farklarla}$$

$$\left((\lambda + 2\mu) \frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i-1,j,k} + u_{i-2,j,k}}{2\Delta r} + \lambda \left(\frac{u_{i,j,k}}{r_i} + \frac{1}{r_i} \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j-1,k} + v_{i,j-2,k}}{2\Delta \theta} + \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j,k-1} + 3w_{i,j,k-2}}{2\Delta z} \right) \right) = 0 \quad (3.64)$$

şeklinde yazılır.

$$\tau_{r\theta}(R_d, \theta, z) = 0 \quad \text{idi. Yani,}$$

$$2\mu\gamma_{r\theta} = 0 \quad \text{ya da}$$

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right) = 0 \quad \text{olup sonlu farklarla}$$

$$\frac{1}{r_i} \frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i,j-1,k} + u_{i,j-2,k}}{2\Delta \theta} + \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i-1,j,k} + v_{i-2,j,k}}{2\Delta r} - \frac{v_{i,j,k}}{r_i} = 0 \quad (3.65)$$

şeklinde yazılır.

$\tau_{rz}(R_d, \theta, z) = 0$ idi. Yani,

$2\mu\gamma_{rz} = 0$ veya

$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0$ olup sonlu farklarla yazılımı

$$\frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i,j,k-1} + u_{i,j,k-2}}{2\Delta z} + \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i-1,j,k} + w_{i-2,j,k}}{2\Delta r} = 0 \quad (3.66)$$

şeklindedir.

iii. $z = h$

$\sigma_z(r, \theta, h) = -P$, yani

$(\lambda + 2\mu)\epsilon_z + \lambda(\epsilon_r + \epsilon_\theta) = -P$ ya da

$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) = -P$ olur.

Bunu sonlu farklar ile

$$\begin{aligned} & (\lambda + 2\mu) \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j,k-1} + w_{i,j,k-2}}{2\Delta z} \\ & + \lambda \left(\frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i-1,j,k} + u_{i-2,j,k}}{2\Delta r} + \frac{u_{i,j,k}}{r_i} + \frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j-1,k} + v_{i,j-2,k}}{2\Delta \theta} \right) = -P(i, j) \end{aligned} \quad (3.67)$$

şeklinde yazarız.

$\tau_{\theta z}(r, \theta, h) = 0$ idi. Yani,

$2\mu\gamma_{\theta z} = 0$ veya

$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) = 0$

Bunu sonlu farklar ile

$$\frac{3v_{i,j,k} - 4v_{i,j,k-1} + v_{i,j,k-2}}{2\Delta z} + \frac{1}{r_i} \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i,j-1,k} + w_{i,j-2,k}}{2\Delta \theta} = 0 \quad (3.68)$$

şeklinde yazarız.

$\tau_{rz}(r, \theta, h) = 0$ idi. Yani,

$2\mu\gamma_{rz} = 0$ veya

$$2\mu \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) = 0$$

Bunu sonlu farklar ile

$$\frac{3u_{i,j,k} - 4u_{i,j,k-1} + u_{i,j,k-2}}{2\Delta z} + \frac{3w_{i,j,k} - 4w_{i-1,j,k} + w_{i-2,j,k}}{2\Delta r} = 0 \quad (3.69)$$

şeklinde yazarız.

4- ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu çalışma esnasında takip edilen yol şu şekildedir:

1. Adım: Yatak basınç dağılımı, yağ filmi kalınlığının lokma boyunca (çevresel yönde) δ kadar değiştiği kabul edilerek Reynolds diferansiyel denkleminde bulunmaktadır. Bu başlangıç durumunda herhangi bir deformasyonun söz konusu olmadığı kabul edilmektedir.

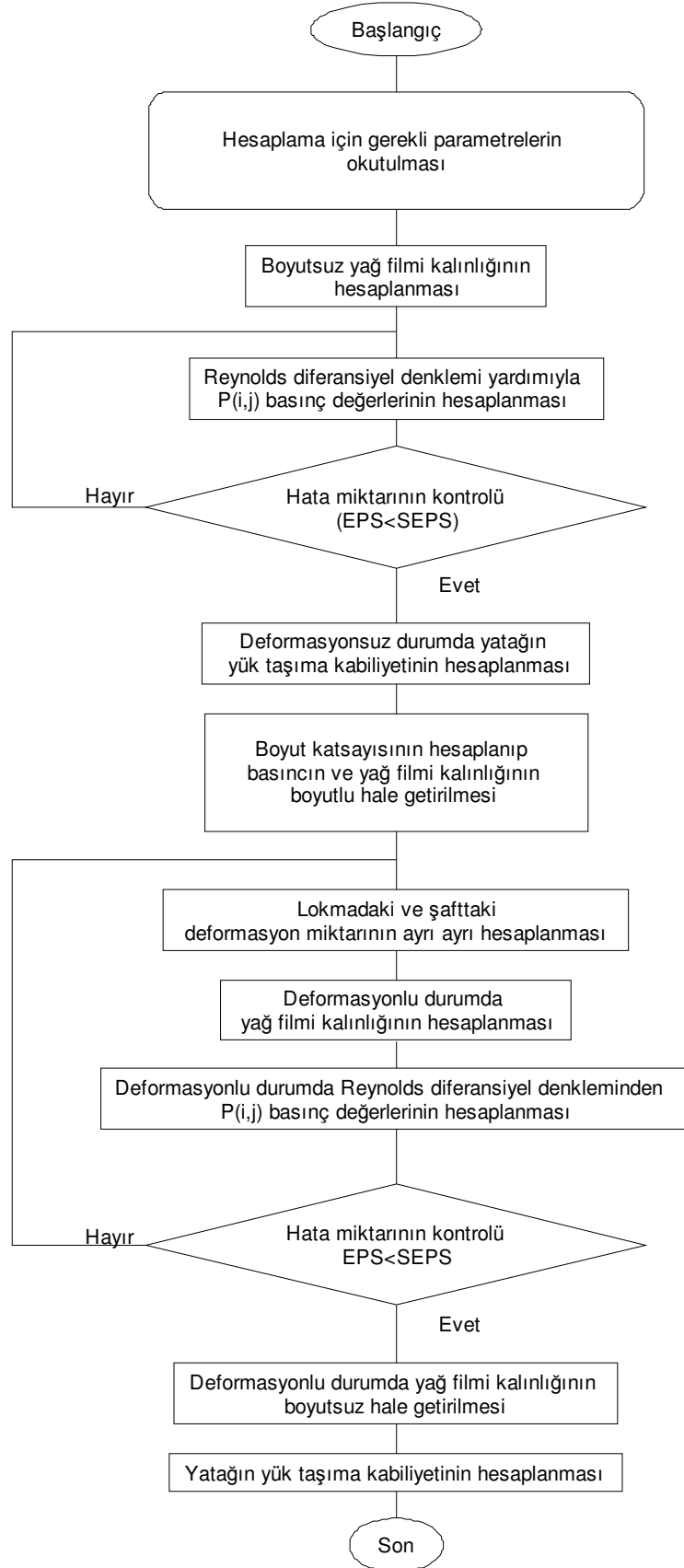
2. Adım: Bünye denklemleri, 1. adımda bulunan basınç değerleri kullanılarak sınır şartlarını sağlayacak şekilde önce lokma, ardından da şaft için çözdürülmektedir. Hesaplama sonucunda lokma ve şaft üzerindeki her bir noktanın deformasyon değerleri bulunmaktadır. Bu deformasyon değerlerinden yağ filmi kalınlığına etkisi olacak olan z-yönündeki w deformasyonu bizim için önem taşımaktadır.

3. Adım: Lokma ve şaft için elde edilen bu w deformasyon değerleri, başlangıçta hesaplanan yağ filmi kalınlığına ilave edilerek o noktadaki yeni yağ filmi kalınlığı elde edilir. Elde edilen bu yeni film kalınlığına göre yeni basınç dağılımı başlangıçtaki gibi yeniden hesaplanır.

4. Adım: 3. adımın sonunda elde edilen yeni basınç dağılımı kullanılarak önceki adımlarda yapıldığı gibi yeni deformasyon değerleri ve bu deformasyon etkisiyle değişecek yağ filmi kalınlığı bulunur. Yapılan işlemler bir iterasyon şeklinde sürekli tekrar etmektedir. Basınç dağılımı ve yağ filmi kalınlığı için iterasyona önceden belirlenen belli bir hata payının (tolerans değerinin) altında kalıncaya kadar devam edilir ve bu hata payını aşmadan elde edilen değerler sonuç değerleri olarak kabul edilir.

Burada anlatılan işlemler, gerek hesaplama hatalarını önlemek gerekse zaman kazancı sağlamak gibi sebeplerden dolayı bilgisayar ortamında, MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar için kullanılan program metni EK-3'te verilmiştir. Program esnasında izlenen yol Şekil 4.1'deki gibidir.

Çeşitli yatak parametrelerine bağlı olarak elde edilen yağ filmi kalınlığı, basınç dağılımı ve yatağın yük taşıma kapasitesine ait değerler çizelgeler halinde Çizelge 4.1'de ve daha ayrıntılı olarak da EK-1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Bilgisayar programı akış şeması

Çizelge 4.1 Çeşitli malzeme çiftleri için yatak performans değerleri

Çelik-Çelik çifti için yatağın taşıyabileceği boyutsuz yük miktarı

| Yatak Boyutu | | Deformasyon Öncesi Yatağın Taşıyabileceği Yük Miktarı | Deformasyon Sonrası Yatağın Taşıyabileceği Yük Miktarı | | Yük Miktarındaki Azalma | |
|--------------|--------------|---|--|--------|-------------------------|-------|
| L/R_d | h_2/δ | | LDS | SD | LDS | SD |
| 1 | 1 | 0,0837 | 0,0827 | 0,0823 | %1,19 | %1,67 |
| 1/2 | 1 | 0,2200 | 0,2194 | 0,2190 | %0,27 | %0,45 |
| 1/3 | 1 | 0,2567 | 0,2561 | 0,2557 | %0,23 | %0,39 |
| 1 | 1/2 | 0,2677 | 0,2638 | 0,2627 | %1,46 | %1,87 |
| 1/2 | 1/2 | 0,7316 | 0,7300 | 0,7290 | %0,22 | %0,36 |
| 1/3 | 1/2 | 0,9022 | 0,9008 | 0,8996 | %0,16 | %0,29 |
| 1 | 1/4 | 0,6147 | 0,6093 | 0,6076 | %0,88 | %1,16 |
| 1/2 | 1/4 | 1,7540 | 1,7516 | 1,7497 | %0,14 | %0,25 |
| 1/3 | 1/4 | 2,3146 | 2,3121 | 2,3098 | %0,11 | %0,21 |

Çelik-Bronz çifti için yatağın taşıyabileceği boyutsuz yük miktarı

| Yatak Boyutu | | Deformasyon Öncesi Yatağın Taşıyabileceği Yük Miktarı | Deformasyon Sonrası Yatağın Taşıyabileceği Yük Miktarı | | Yük Miktarındaki Azalma | |
|--------------|--------------|---|--|--------|-------------------------|-------|
| L/R_d | h_2/δ | | LDS | SD | LDS | SD |
| 1 | 1 | 0,0837 | 0,0835 | 0,0827 | %0,24 | %1,19 |
| 1/2 | 1 | 0,2200 | 0,2195 | 0,2191 | %0,23 | %0,41 |
| 1/3 | 1 | 0,2567 | 0,2562 | 0,2558 | %0,19 | %0,35 |
| 1 | 1/2 | 0,2677 | 0,2657 | 0,2638 | %0,75 | %1,46 |
| 1/2 | 1/2 | 0,7316 | 0,7304 | 0,7291 | %0,16 | %0,34 |
| 1/3 | 1/2 | 0,9022 | 0,9010 | 0,8997 | %0,13 | %0,28 |
| 1 | 1/4 | 0,6147 | 0,6119 | 0,6091 | %0,46 | %0,91 |
| 1/2 | 1/4 | 1,7540 | 1,7521 | 1,7500 | %0,11 | %0,23 |
| 1/3 | 1/4 | 2,3146 | 2,3124 | 2,3100 | %0,10 | %0,20 |

Çelik-Dökme demir çifti için yatağın taşıyabileceği boyutsuz yük miktarı

| Yatak Boyutu | | Deformasyon Öncesi Yatağın Taşıyabileceği Yük Miktarı | Deformasyon Sonrası Yatağın Taşıyabileceği Yük Miktarı | | Yük Miktarındaki Azalma | |
|--------------|--------------|---|--|--------|-------------------------|-------|
| L/R_d | h_2/δ | | LDS | SD | LDS | SD |
| 1 | 1 | 0,0837 | 0,0832 | 0,0822 | %0,60 | %1,79 |
| 1/2 | 1 | 0,2200 | 0,2195 | 0,2190 | %0,23 | %0,45 |
| 1/3 | 1 | 0,2567 | 0,2562 | 0,2557 | %0,19 | %0,39 |
| 1 | 1/2 | 0,2677 | 0,2650 | 0,2624 | %1,01 | %1,98 |
| 1/2 | 1/2 | 0,7316 | 0,7303 | 0,7289 | %0,18 | %0,37 |
| 1/3 | 1/2 | 0,9022 | 0,9009 | 0,8996 | %0,14 | %0,29 |
| 1 | 1/4 | 0,6147 | 0,6109 | 0,6072 | %0,62 | %1,22 |
| 1/2 | 1/4 | 1,7540 | 1,7519 | 1,7497 | %0,12 | %0,25 |
| 1/3 | 1/4 | 2,3146 | 2,3123 | 2,3098 | %0,10 | %0,21 |

LDS: Yalnızca lokmanın deformasyonu söz konusu olmasındaki durum

SD: Lokma + şaft deformasyonu sonrası son durum

Eksenel kaymalı yatak tasarımında önemli bir kriter olan ve bu çalışma esnasında da kullanılmış olan minimum yağ filmi kalınlığı ampirik olarak,

$$h \geq 0,005 + 0,002R_d \quad (4.1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. Bu bağıntı ile hesaplanan yağ filmi kalınlığında yatak yüzey pürüzlülük değerleri, imalat ve montajdaki form düzgünlükleri dikkate alınmıştır. Yüksek devirlere, dolayısıyla yüksek basınç değerlerine çıkıldıkça yatakta oluşan deformasyon sonucu yağ filmi kalınlığı değişmektedir. Dolayısıyla yukarıdaki ampirik bağıntı ile hesaplanan yağ filmi kalınlığı doğru sonucu vermemektedir. Bu yüzden yatak deformasyonu da dikkate alınmalıdır.

Yapılan çalışmada yataktaki basınç dağılımının elde edildiği Reynolds denklemi, yağ viskozitesinin basınçla değişmediği, sabit kaldığı (izoviskoz) kabul edilerek çözülmüştür. Viskozite değeri, gerçek çalışma ortamında yüksek basınç değerlerine çıkıldıkça sabit kalmayıp değişmektedir. Bu yüzden hesaplanan teorik değerler ile gerçek çalışma şartları sonucu elde edilen değerler bir miktar farklılık göstermektedir. Bunun önlenmesi için viskozite değişimi, ilgili denklemler yardımıyla hesaplanıp Reynolds denkleminde yerine konmalı, bu şekilde hata miktarı azaltılmalıdır.

Yapılan bu çalışmada yatak malzemesi olarak çelik, bronz ve dökme demir seçilmiştir. Pratikte, yatak lokmaları genellikle çelikten imal edilip yüzeyi başka bir kaplama malzemesi ile kaplanabilmektedir. Bahsi geçen kaplamanın kalınlığı deformasyon sırasında oluşan çökme miktarından az olursa elde edilen sonuçlar değişebilir. Bunun için buna benzer uygulamalarda bu noktalara dikkat edilmelidir.

Bu çalışma esnasında yatak profili için lokmanın sabit eğimli olduğu kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra hiperbolik tip profile veya basamak tip profile sahip lokmalar da kullanılabilir (Şekil 4.2).

Bu profile sahip yataklarda yağ filmi kalınlıkları aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla şu şekilde hesaplanabilir:

Sabit eğimli yataklarda,

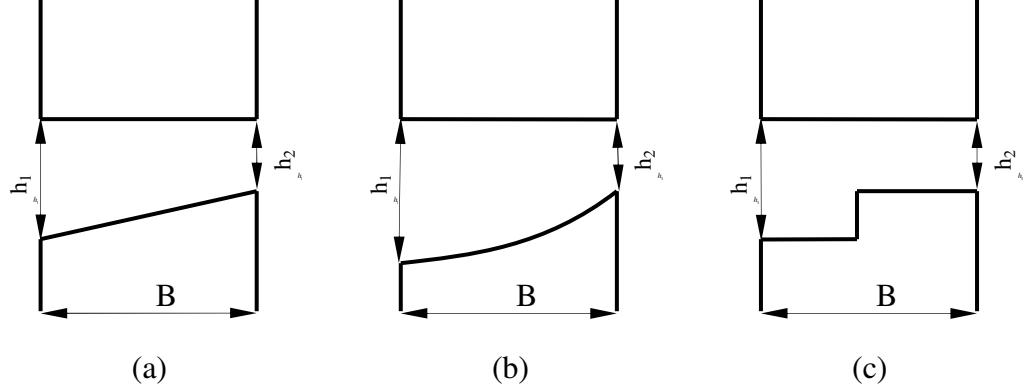
$$h = h_1 \left(1 + \left(\frac{h_2 - h_1}{h_1} \right) \frac{x}{B} \right) \quad (4.2)$$

Hiperbolik profile sahip yataklarda,

$$h = h_2 \exp \left(\ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \frac{x}{B} \right) \quad (4.3)$$

Basamak tip profile sahip yataklarda,

$$h = \begin{cases} h_1, x < \frac{B}{2} \\ h_2, x \geq \frac{B}{2} \end{cases} \quad (4.4)$$



Şekil 4.2 Çeşitli yatak profilleri (a) Sabit eğimli (b) Hiperbolik (c) Basamak tip

Görüldüğü gibi, başlangıçta yapılan kabuller çerçevesinde yürütülen çalışma sonucunda, yatak deformasyonları nedeniyle yatağın yük taşıma kabiliyetinde azalma olmuştur. Çelik-çelik çifti için yataktaki basınç dağılımı, yağ filmi kalınlığı ve deformasyon miktarları EK- 1'deki ilgili çizelge ve şekillerde görülebilmektedir. Daha önce verilmiş olan Çizelge 4.1'den de görülebileceği gibi yük taşıma kabiliyetindeki maksimum düşüş çelik-dökme demir çiftinde (%1,98) olmuştur. Çalışmada kullanılan diğer malzeme çiftlerine ait değerler de yine bu tablodan görülebilir.

Yapılan çalışmada hem lokmanın hem de shaftın deformasyonları dikkate alınmış, bu şekilde daha net sonuçlara ulaşılmıştır (Çizelge 4.1'de sadece lokma deformasyonu sözkonusu olması durumunda (LDS) elde edilebilecek sonuçlar da verilerek konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırma yapılması sağlanmakta, bu şekilde sonuçlar hakkında daha iyi fikir elde edilmesi amaçlanmaktadır). Bunun yanı sıra başlangıçta yapılan kabuller (viskozitenin sabit oluşu, vs.) yerine bunların da uygulama esnasındaki değişimlerini sistem içerisine entegre edecek çalışmalarla daha hassas sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

BENJAMIN,M.K.,V.CASTELLI.1971.A Theoretical Investigation of Compliant Surface Journal Bearings. J. Lubr. Tech., 93(1),p.191-201.

BOZACI,A.,B.R.DUDLEY,V.MIDDLETON,D.G.ALLEN.1978.Steady Load Performance of a Journal Bearing with an Elastic Housing. Proc. Fifth Leeds-Lyon Symp. on Tribology, Leeds. p.320-328.

BRIGHTON,D.K.,C.J.HOOKE,J.P.O'DONOGHUE.1967.A Theoretical and Experimental Investigation of the Effect of Elastic Distortions on the Performance of Journal Bearings. Proc. Institution of Mechanical. Engineers.London. p.192-200.

CAMERON, A.1966. Principles of Lubrication.Wiley, New York.

CARL,T.E.1964.The Experimental Investigation of a Cylindrical Journal Bearing under Constant and Sinusoidal Loading. 2nd Conv.on Lub. and Wear, Proc. Institution of Mechanical Engineers.London. p.19-100.

CONWAY,H.D.,H.C.LEE.1980.The Analysis of the Lubrication of a Flexible Journal Bearing. Journal of Lubrication Tech. p.599-604.

DOWSON,D.,C.M.TAYLOR.1980.The State of Knowledge in the Field of Bearing Influenced Rotor Dynamics. Tribology Institution. 13:196-198.

DOWSON,D.,G.R.HIGGINSON.1977.Elastohydrodynamic Lubrication. Pergamon Press, Oxford.

EL-SISI,S.I.,G.S.A.SCHAWKI.1960.Performance Characteristics of a Lubricating Oil Film Between Disk. J. Basic Eng. 82(1):19-28.

FALZ,E.1926.Grundzüge der Schmiertechnik.Berlin, Springer-Verlag.

GÜMBEL,L.1914.Das Problem der Lagerreibung. Mbl. Berlin, Bez-VDI, 5.p.87-104,109-120.

GÜMBEL,L.,E.EVERLING.1925.Reibung und Schmierung im Maschinenbau, Berlin: Krayn.

HERSEY,M.D.1966.Theory and Research in Lubrication Foundations for Future Developments. New York – London – Sidney: John Wiley

HIGGINSON,G.R.1965.The Theoretical Effects of Elastic Deformation of the Bearing Liner on Journal Bearing Performance. Proc. Institution Mechanical. Engineers.180:31-38.

HOUPERT,L.2001.An Engineering Approach to Hertzian Contact Elasticity. Journal of Tribology, 123(3):582-588.

JAIN,S.C.,R.SINHASAN,D.V.SINGH.1984.A Study of EHD Lubrication in a Journal Bearing with Piezoviscous Lubricants, 27(2):168-176.

JAIN,S.C.,R.SINHASAN,D.V.SINGH.1983.Consideration of Viscosity in Determining the Performance Characteristics of Circular Bearings in the Laminar and Turbulent Regimes. Wear, 86:233-245.

JAIN,S.C.,R.SINHASAN,D.V.SINGH.1982.Elastohydrodynamic Analysis of a Cylindrical Journal Bearing with a Flexible Bearing Shell. Wear, 78:325-335.

JAIN,S.C.,R.SINHASAN,D.V.SINGH.1981.Effect of Bearing Pad Deformation on the Performance of Finite Fixed-Pad Slider Bearings. Elsevier Sequoia, Netherlands.

KUDISH,I.2000.Formulation and Analysis of EHL Problems for Soft Materials. Journal of Tribology, 122(4):705-710.

LOVELL,M.R.,Z.DENG.2000.Experimental Characterization of Sliding Friction: Crossing From Deformation to Plowing Contact. Journal of Tribology, 122(4):856-863

MOTOSH,N.1963-1964.Cylindrical Journal Bearings under Constant Load, the Influence of Temperatur and Pressure on Viscosity. 2nd Conv. on Lubric. Wear, Proc. Institution. Mechanical Engineers. p.148-178.

OCWIRK,F.W.,G.B.DU BOIS.1953.Analytical Derivation and Experimental Evaluation of Short Bearing Approximations of Full Journal Bearings. N.A.C.A. Tech. Report No.1157.

O'DONOGHUE,J.P.,P.R.KOCH,C.J.HOOKE.1969.Approximate Short Bearing Analysis and Experimental Result Obtained Using Plastic Bearing Liners. Proc. Institution Mechanical Engineers. p.190-196.

OH,K.P.,K.H.HUEBNER.1973.Solution of the Elastohydrodynamic Finite Journal Bearing Problem. Journal of Lubrication. Tech. , Trans. ASME, 95(3):342-352.

OKAMOTO,Y.,M.HANAHASHI,T.KATAGARI.2000.Effect of Housing Stiffness and Bearing Dimension on Engine Bearing Performance by Elastohydrodynamic Lubrication Analysis. Journal of Bearing, 122(4):697-704.

OSTERLE,F.,E.SAIBEL.1957.The Effect of Bearing Deformation in Slider-Bearing Lubrication.ASLE, Detroit. p.213-216

PEPPLER,W.1938.Druckübertragung an geschmierten zylindrischen Gleit und Walzflaechen, V. D. I. Forschungsheft 391.

REYNOLDS,O.1886.On the Theory of Lubrication and its Application to Mr.B. Tower's Experiments, Including an Experimental Determination of the Viscosity of Olive Oil. Phil. Trans. Roy. Soc.177:157-234.

ROTHBART,H.A.1964.Mechanical Design and Systems Handbook.McGraw Hill Book Company,USA.Section 12,p.1-130

TOKLAR,A.2003.Eksenel kaymalı yatakların performans karakteristiklerine deformasyonun etkisi.Yüksek lisans tezi (yayınlanmamış),Uludağ Üniversitesi,Bursa.87s.

TOWER,B.1884.First Report on Friction Experiments, Proc. Institution Mechanical Engineers., p.29-35, 632-659.

VON PAULI,F.A.1849.Über den Widerstand der Zapfenreibung, Kunst und Gewerbeblatt des Polytechnischen Verein des Konigreich Bayern,8(9):452-469.

<http://www.howstuffworks.com>

<http://www.kingsbury.com>

<http://mathworld.wolfram.com>

EKLER**EK-1**

Hidrodinamik aksenal kaymalı yatakta deformasyon öncesi ve sonrası oluşan boyutsuz yağ filmi kalınlıkları ve basınç dağılımları MATLAB programında yazılan bir program vasıtasıyla hesaplanmış ve çelik-çelik çifti için ilerleyen sayfalarda çizelgeler halinde verilmiştir. Görselliğin artırılması amacıyla çizelgelere ait grafikler verilmiştir.

Çizelge 6.1 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 2 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 3 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 4 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 5 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 6 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 7 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 8 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 9 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 10 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 11 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 12 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 13 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 14 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 15 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 16 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 17 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 18 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 19 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 20 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 2 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 3 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 4 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 5 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 6 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 7 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 8 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 9 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 10 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 11 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 12 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 13 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 14 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 15 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 16 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 17 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 18 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 19 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 20 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |

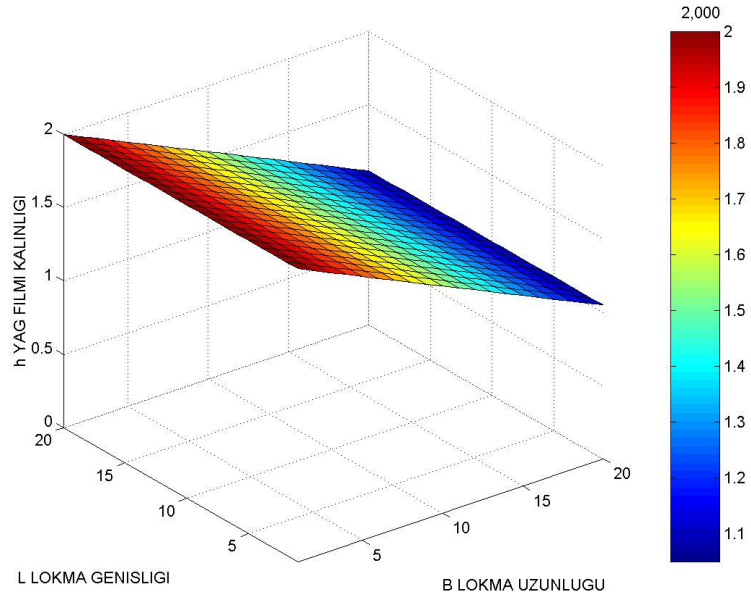
Çizelge 6.2 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1$)

L (Lokma Genişliği)

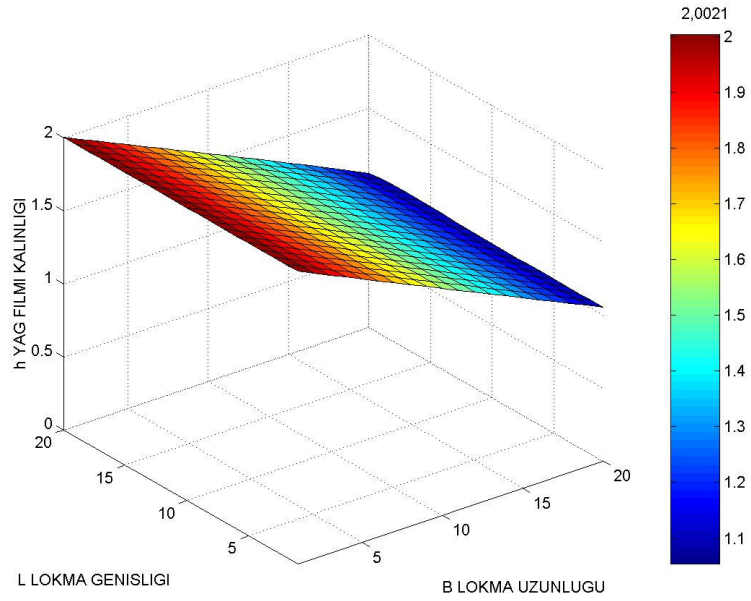
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 2,0020 | 1,9520 | 1,9020 | 1,8520 | 1,8020 | 1,7520 | 1,7020 | 1,6520 | 1,6020 | 1,5520 |
| | 2 | 2,0020 | 1,9520 | 1,9020 | 1,8520 | 1,8020 | 1,7520 | 1,7020 | 1,6520 | 1,6020 | 1,5520 |
| | 3 | 2,0020 | 1,9520 | 1,9020 | 1,8520 | 1,8020 | 1,7520 | 1,7020 | 1,6520 | 1,6020 | 1,5520 |
| | 4 | 2,0020 | 1,9520 | 1,9020 | 1,8520 | 1,8020 | 1,7520 | 1,7020 | 1,6520 | 1,6020 | 1,5520 |
| | 5 | 2,0020 | 1,9520 | 1,9020 | 1,8520 | 1,8020 | 1,7521 | 1,7021 | 1,6521 | 1,6021 | 1,5521 |
| | 6 | 2,0020 | 1,9520 | 1,9020 | 1,8521 | 1,8021 | 1,7521 | 1,7021 | 1,6522 | 1,6022 | 1,5522 |
| | 7 | 2,0020 | 1,9520 | 1,9021 | 1,8521 | 1,8022 | 1,7522 | 1,7022 | 1,6523 | 1,6023 | 1,5524 |
| | 8 | 2,0020 | 1,9521 | 1,9021 | 1,8522 | 1,8023 | 1,7523 | 1,7024 | 1,6525 | 1,6025 | 1,5526 |
| | 9 | 2,0020 | 1,9521 | 1,9022 | 1,8523 | 1,8024 | 1,7525 | 1,7026 | 1,6528 | 1,6029 | 1,5530 |
| | 10 | 2,0020 | 1,9522 | 1,9023 | 1,8525 | 1,8026 | 1,7528 | 1,7030 | 1,6531 | 1,6033 | 1,5535 |
| | 11 | 2,0020 | 1,9522 | 1,9024 | 1,8526 | 1,8029 | 1,7531 | 1,7034 | 1,6536 | 1,6039 | 1,5541 |
| | 12 | 2,0020 | 1,9523 | 1,9026 | 1,8529 | 1,8032 | 1,7536 | 1,7039 | 1,6543 | 1,6046 | 1,5550 |
| | 13 | 2,0020 | 1,9524 | 1,9028 | 1,8532 | 1,8037 | 1,7541 | 1,7046 | 1,6550 | 1,6055 | 1,5559 |
| | 14 | 2,0020 | 1,9525 | 1,9030 | 1,8536 | 1,8042 | 1,7547 | 1,7053 | 1,6559 | 1,6065 | 1,5570 |
| | 15 | 2,0020 | 1,9526 | 1,9033 | 1,8540 | 1,8047 | 1,7553 | 1,7060 | 1,6567 | 1,6074 | 1,5580 |
| | 16 | 2,0020 | 1,9528 | 1,9035 | 1,8543 | 1,8051 | 1,7558 | 1,7066 | 1,6574 | 1,6081 | 1,5588 |
| | 17 | 2,0020 | 1,9528 | 1,9037 | 1,8545 | 1,8053 | 1,7561 | 1,7068 | 1,6576 | 1,6083 | 1,5590 |
| | 18 | 2,0020 | 1,9528 | 1,9036 | 1,8543 | 1,8051 | 1,7558 | 1,7064 | 1,6571 | 1,6077 | 1,5584 |
| | 19 | 2,0021 | 1,9526 | 1,9032 | 1,8537 | 1,8041 | 1,7545 | 1,7050 | 1,6554 | 1,6058 | 1,5563 |
| | 20 | 2,0019 | 1,9521 | 1,9024 | 1,8526 | 1,8029 | 1,7531 | 1,7033 | 1,6535 | 1,6037 | 1,5540 |

L (Lokma Genişliği)

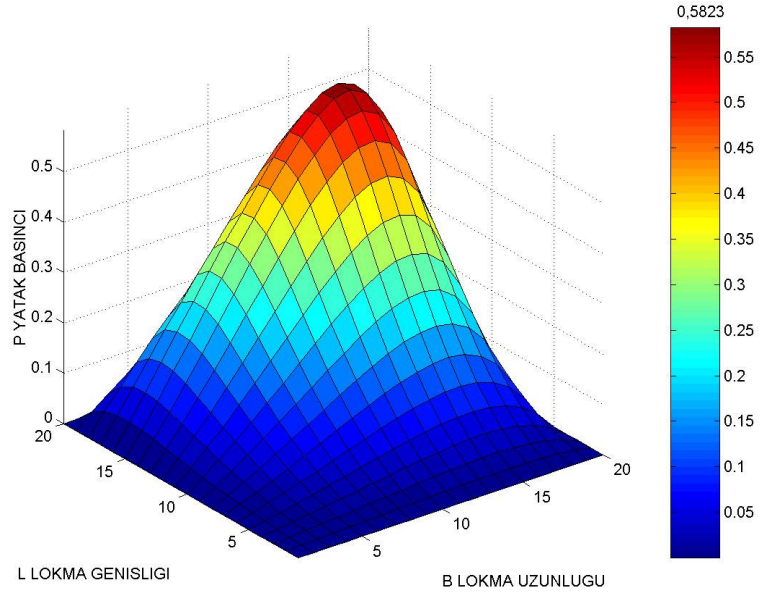
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5020 | 1,4520 | 1,4020 | 1,3520 | 1,3020 | 1,2520 | 1,2020 | 1,1520 | 1,1020 | 1,0520 |
| | 2 | 1,5020 | 1,4520 | 1,4020 | 1,3520 | 1,3020 | 1,2520 | 1,2020 | 1,1520 | 1,1020 | 1,0520 |
| | 3 | 1,5020 | 1,4520 | 1,4020 | 1,3520 | 1,3020 | 1,2520 | 1,2020 | 1,1520 | 1,1020 | 1,0520 |
| | 4 | 1,5021 | 1,4521 | 1,4021 | 1,3521 | 1,3021 | 1,2521 | 1,2021 | 1,1520 | 1,1020 | 1,0520 |
| | 5 | 1,5021 | 1,4521 | 1,4021 | 1,3521 | 1,3021 | 1,2521 | 1,2021 | 1,1521 | 1,1021 | 1,0521 |
| | 6 | 1,5022 | 1,4522 | 1,4023 | 1,3523 | 1,3023 | 1,2523 | 1,2022 | 1,1522 | 1,1021 | 1,0522 |
| | 7 | 1,5024 | 1,4524 | 1,4025 | 1,3525 | 1,3025 | 1,2525 | 1,2024 | 1,1524 | 1,1022 | 1,0523 |
| | 8 | 1,5027 | 1,4527 | 1,4028 | 1,3528 | 1,3028 | 1,2528 | 1,2027 | 1,1526 | 1,1024 | 1,0526 |
| | 9 | 1,5031 | 1,4532 | 1,4032 | 1,3533 | 1,3033 | 1,2533 | 1,2032 | 1,1529 | 1,1026 | 1,0529 |
| | 10 | 1,5036 | 1,4538 | 1,4039 | 1,3540 | 1,3040 | 1,2539 | 1,2037 | 1,1534 | 1,1029 | 1,0534 |
| | 11 | 1,5044 | 1,4546 | 1,4047 | 1,3548 | 1,3049 | 1,2548 | 1,2045 | 1,1540 | 1,1033 | 1,0540 |
| | 12 | 1,5053 | 1,4556 | 1,4058 | 1,3559 | 1,3060 | 1,2558 | 1,2055 | 1,1548 | 1,1037 | 1,0547 |
| | 13 | 1,5064 | 1,4567 | 1,4070 | 1,3572 | 1,3072 | 1,2571 | 1,2066 | 1,1557 | 1,1043 | 1,0556 |
| | 14 | 1,5075 | 1,4579 | 1,4083 | 1,3585 | 1,3086 | 1,2584 | 1,2078 | 1,1567 | 1,1049 | 1,0566 |
| | 15 | 1,5086 | 1,4591 | 1,4096 | 1,3599 | 1,3100 | 1,2597 | 1,2091 | 1,1577 | 1,1056 | 1,0577 |
| | 16 | 1,5095 | 1,4601 | 1,4106 | 1,3609 | 1,3111 | 1,2609 | 1,2101 | 1,1586 | 1,1062 | 1,0588 |
| | 17 | 1,5097 | 1,4604 | 1,4109 | 1,3614 | 1,3116 | 1,2614 | 1,2107 | 1,1592 | 1,1066 | 1,0595 |
| | 18 | 1,5090 | 1,4596 | 1,4102 | 1,3606 | 1,3108 | 1,2608 | 1,2102 | 1,1589 | 1,1065 | 1,0595 |
| | 19 | 1,5067 | 1,4571 | 1,4075 | 1,3578 | 1,3081 | 1,2581 | 1,2078 | 1,1570 | 1,1054 | 1,0581 |
| | 20 | 1,5042 | 1,4544 | 1,4046 | 1,3548 | 1,3049 | 1,2550 | 1,2049 | 1,1544 | 1,1036 | 1,0520 |



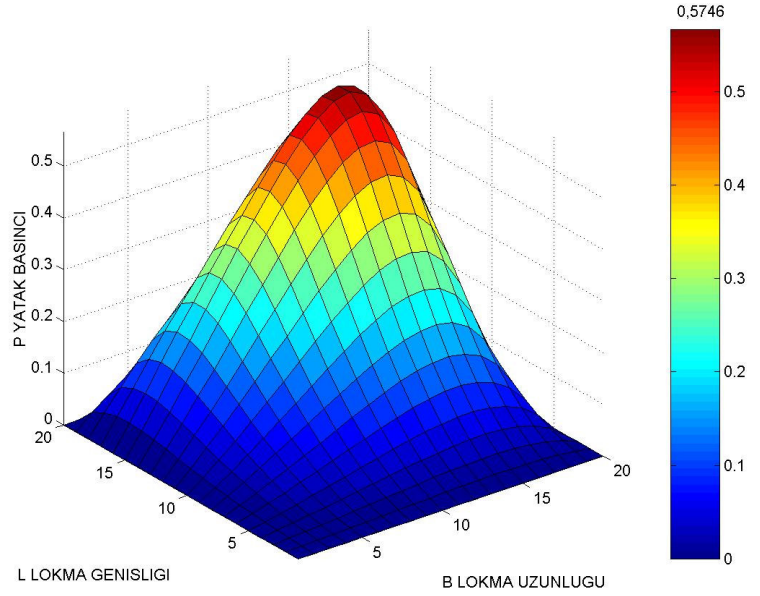
Şekil 6.1 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.2 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.3 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.4 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1$)

Çizelge 6.5 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 2 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 3 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 4 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 5 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 6 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 7 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 8 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 9 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 10 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 11 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 12 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 13 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 14 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 15 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 16 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 17 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 18 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 19 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 20 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 2 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 3 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 4 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 5 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 6 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 7 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 8 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 9 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 10 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 11 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 12 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 13 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 14 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 15 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 16 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 17 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 18 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 19 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 20 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |

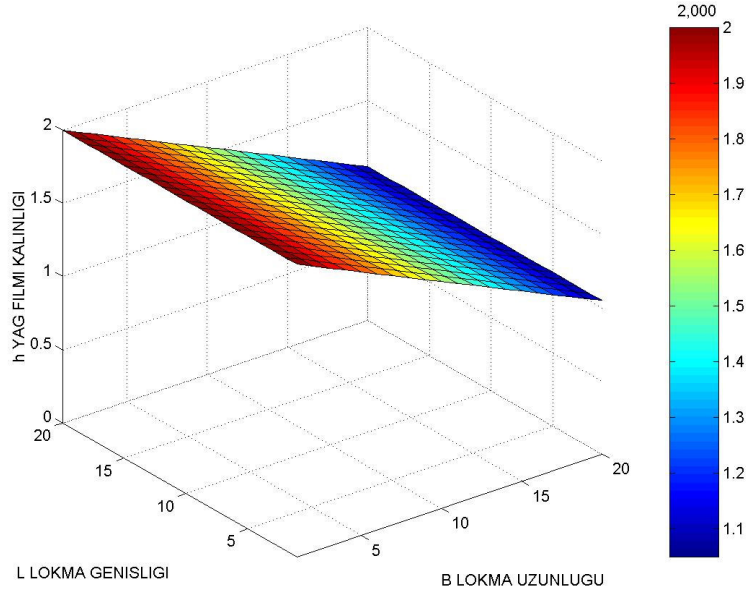
Çizelge 6.6 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1$)

L (Lokma Genişliği)

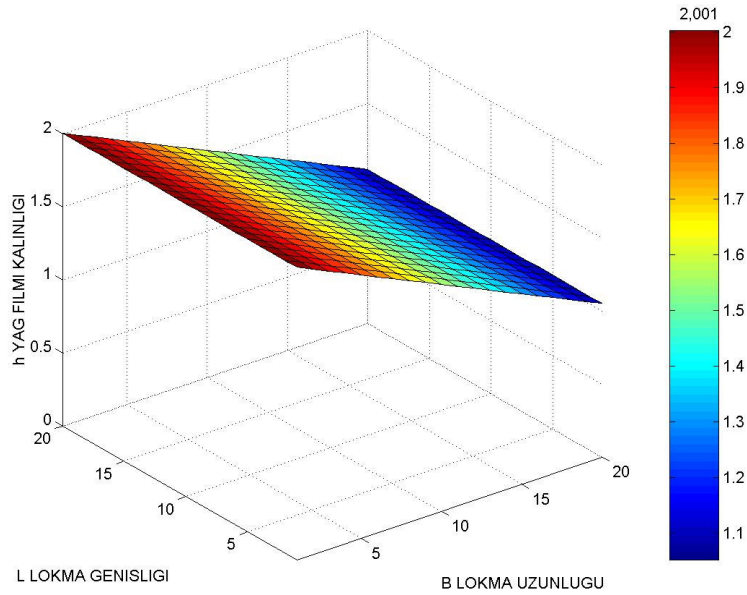
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9009 | 1,8509 | 1,8009 | 1,7509 | 1,7009 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 2 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9009 | 1,8509 | 1,8009 | 1,7509 | 1,7009 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5510 |
| | 3 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9009 | 1,8509 | 1,8009 | 1,7510 | 1,7010 | 1,6510 | 1,6010 | 1,5510 |
| | 4 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9009 | 1,8509 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7010 | 1,6510 | 1,6010 | 1,5510 |
| | 5 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9009 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7010 | 1,6510 | 1,6010 | 1,5510 |
| | 6 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7010 | 1,6510 | 1,6011 | 1,5511 |
| | 7 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7010 | 1,6511 | 1,6011 | 1,5511 |
| | 8 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7011 | 1,6511 | 1,6011 | 1,5511 |
| | 9 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7011 | 1,6511 | 1,6011 | 1,5512 |
| | 10 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6511 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 11 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6511 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 12 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8011 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6512 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 13 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8011 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6512 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 14 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8011 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6512 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 15 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8011 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6512 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 16 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8011 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6512 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 17 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7511 | 1,7011 | 1,6511 | 1,6012 | 1,5512 |
| | 18 | 2,0009 | 1,9510 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7011 | 1,6511 | 1,6011 | 1,5511 |
| | 19 | 2,0010 | 1,9509 | 1,9010 | 1,8510 | 1,8010 | 1,7510 | 1,7010 | 1,6510 | 1,6010 | 1,5510 |
| | 20 | 2,0009 | 1,9509 | 1,9009 | 1,8509 | 1,8009 | 1,7509 | 1,7009 | 1,6510 | 1,6010 | 1,5510 |

L (Lokma Genişliği)

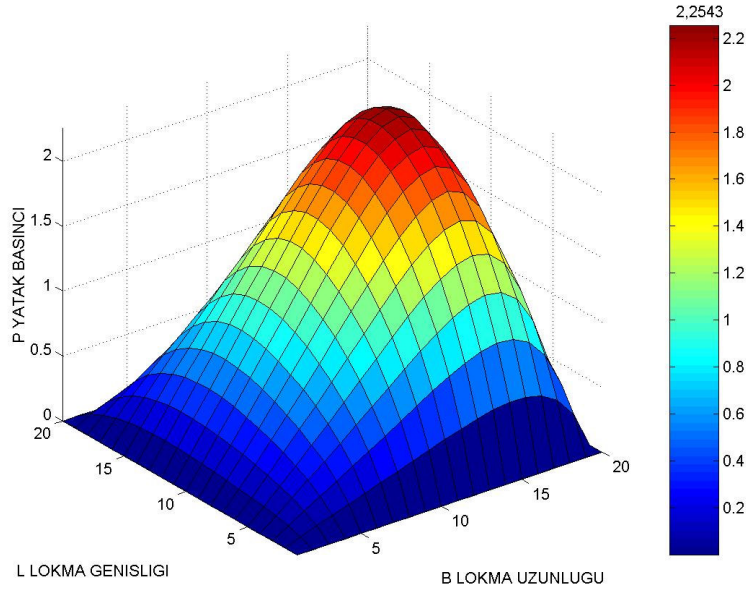
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 2 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1009 | 1,0510 |
| | 3 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 4 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 5 | 1,5011 | 1,4511 | 1,4011 | 1,3511 | 1,3011 | 1,2511 | 1,2011 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 6 | 1,5011 | 1,4511 | 1,4011 | 1,3511 | 1,3011 | 1,2511 | 1,2011 | 1,1511 | 1,1010 | 1,0511 |
| | 7 | 1,5011 | 1,4511 | 1,4012 | 1,3512 | 1,3012 | 1,2512 | 1,2011 | 1,1511 | 1,1010 | 1,0511 |
| | 8 | 1,5012 | 1,4512 | 1,4012 | 1,3512 | 1,3012 | 1,2512 | 1,2012 | 1,1511 | 1,1010 | 1,0511 |
| | 9 | 1,5012 | 1,4512 | 1,4012 | 1,3512 | 1,3012 | 1,2512 | 1,2012 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0512 |
| | 10 | 1,5012 | 1,4512 | 1,4013 | 1,3513 | 1,3013 | 1,2513 | 1,2012 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0512 |
| | 11 | 1,5012 | 1,4513 | 1,4013 | 1,3513 | 1,3013 | 1,2513 | 1,2013 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0512 |
| | 12 | 1,5013 | 1,4513 | 1,4013 | 1,3513 | 1,3013 | 1,2513 | 1,2013 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0512 |
| | 13 | 1,5013 | 1,4513 | 1,4013 | 1,3513 | 1,3014 | 1,2513 | 1,2013 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0513 |
| | 14 | 1,5013 | 1,4513 | 1,4013 | 1,3514 | 1,3014 | 1,2514 | 1,2013 | 1,1513 | 1,1011 | 1,0513 |
| | 15 | 1,5013 | 1,4513 | 1,4013 | 1,3513 | 1,3014 | 1,2514 | 1,2013 | 1,1513 | 1,1011 | 1,0513 |
| | 16 | 1,5012 | 1,4513 | 1,4013 | 1,3513 | 1,3013 | 1,2513 | 1,2013 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0513 |
| | 17 | 1,5012 | 1,4512 | 1,4013 | 1,3513 | 1,3013 | 1,2513 | 1,2013 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0513 |
| | 18 | 1,5011 | 1,4512 | 1,4012 | 1,3512 | 1,3012 | 1,2512 | 1,2012 | 1,1512 | 1,1011 | 1,0512 |
| | 19 | 1,5010 | 1,4511 | 1,4011 | 1,3511 | 1,3011 | 1,2511 | 1,2011 | 1,1511 | 1,1010 | 1,0512 |
| | 20 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3511 | 1,3011 | 1,2511 | 1,2011 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0509 |



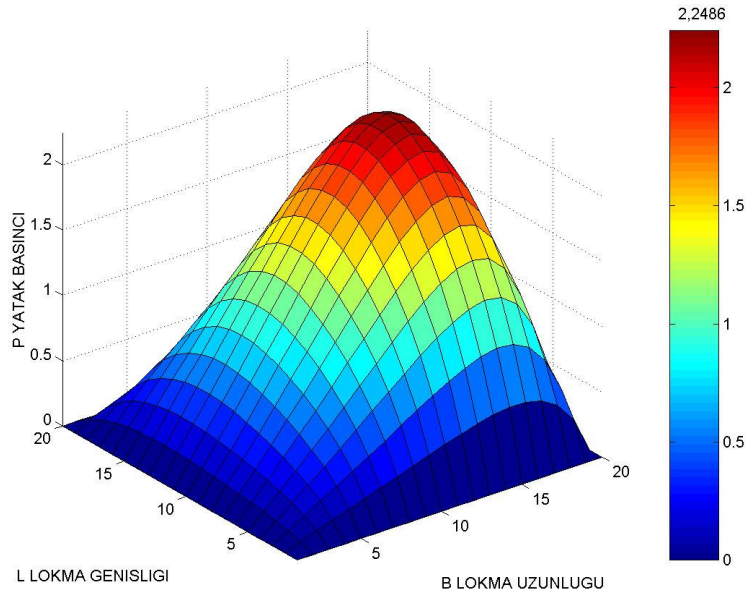
Şekil 6.5 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.6 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.7 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.8 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1$)

Çizelge 6.9 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 2 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 3 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 4 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 5 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 6 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 7 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 8 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 9 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 10 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 11 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 12 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 13 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 14 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 15 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 16 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 17 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 18 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 19 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |
| | 20 | 2,0000 | 1,9500 | 1,9000 | 1,8500 | 1,8000 | 1,7500 | 1,7000 | 1,6500 | 1,6000 | 1,5500 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 2 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 3 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 4 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 5 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 6 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 7 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 8 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 9 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 10 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 11 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 12 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 13 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 14 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 15 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 16 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 17 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 18 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 19 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 20 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |

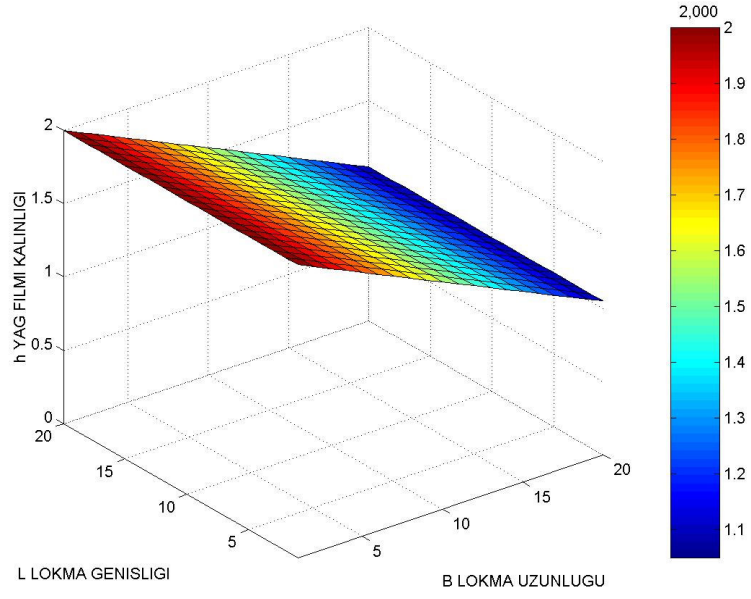
Çizelge 6.10 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1$)

L (Lokma Genişliği)

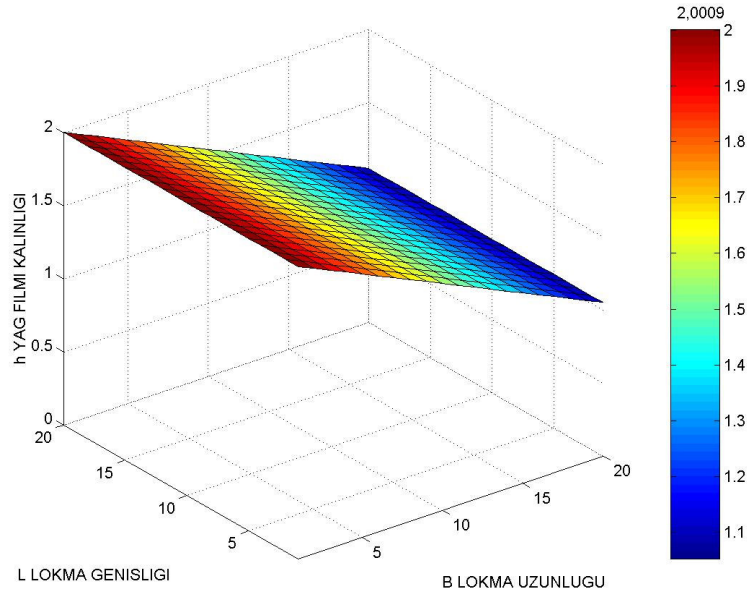
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 2 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 3 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 4 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 5 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 6 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 7 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 8 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 9 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 10 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 11 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7009 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 12 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7009 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 13 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7009 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 14 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7009 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 15 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 16 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6509 | 1,6009 | 1,5509 |
| | 17 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5509 |
| | 18 | 2,0008 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 19 | 2,0009 | 1,9508 | 1,9008 | 1,8508 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |
| | 20 | 2,0007 | 1,9507 | 1,9007 | 1,8507 | 1,8008 | 1,7508 | 1,7008 | 1,6508 | 1,6008 | 1,5508 |

L (Lokma Genişliği)

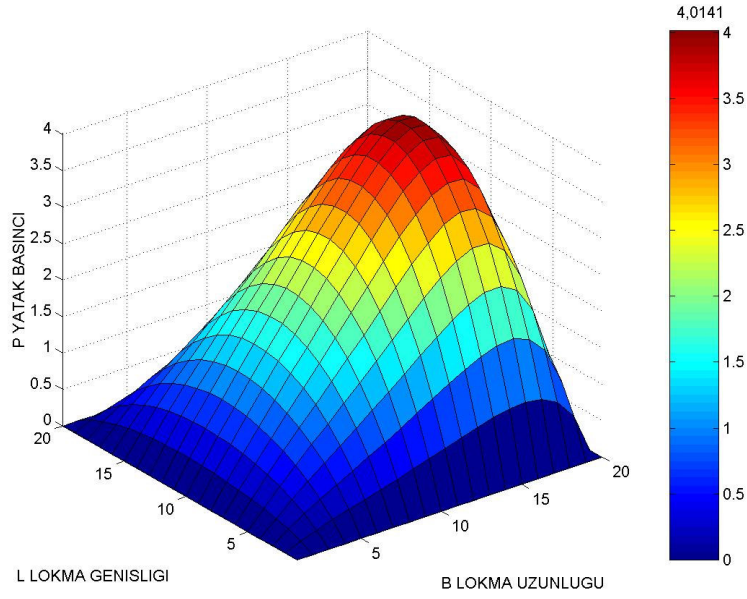
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4008 | 1,3508 | 1,3008 | 1,2508 | 1,2008 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0508 |
| | 2 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4008 | 1,3508 | 1,3008 | 1,2508 | 1,2008 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0508 |
| | 3 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4008 | 1,3508 | 1,3008 | 1,2508 | 1,2008 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0508 |
| | 4 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4008 | 1,3508 | 1,3008 | 1,2508 | 1,2008 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0508 |
| | 5 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0508 |
| | 6 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1008 | 1,0509 |
| | 7 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1008 | 1,0509 |
| | 8 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1008 | 1,0509 |
| | 9 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1008 | 1,0509 |
| | 10 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 11 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 12 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 13 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 14 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 15 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 16 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1009 | 1,0509 |
| | 17 | 1,5009 | 1,4509 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1509 | 1,1008 | 1,0509 |
| | 18 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4009 | 1,3509 | 1,3009 | 1,2509 | 1,2009 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0509 |
| | 19 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4008 | 1,3508 | 1,3008 | 1,2508 | 1,2008 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0509 |
| | 20 | 1,5008 | 1,4508 | 1,4008 | 1,3508 | 1,3008 | 1,2508 | 1,2008 | 1,1508 | 1,1008 | 1,0507 |



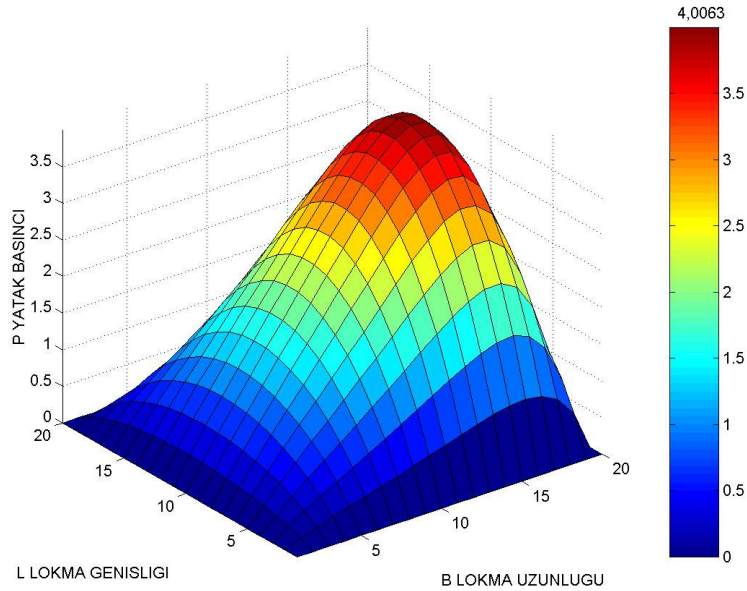
Şekil 6.9 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.10 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.11 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1$)



Şekil 6.12 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1$)

Çizelge 6.13 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/2$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 2 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 3 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 4 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 5 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 6 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 7 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 8 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 9 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 10 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 11 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 12 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 13 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 14 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 15 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 16 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 17 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 18 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 19 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 20 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 2 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 3 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 4 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 5 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 6 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 7 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 8 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 9 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 10 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 11 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 12 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 13 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 14 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 15 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 16 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 17 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 18 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 19 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 20 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |

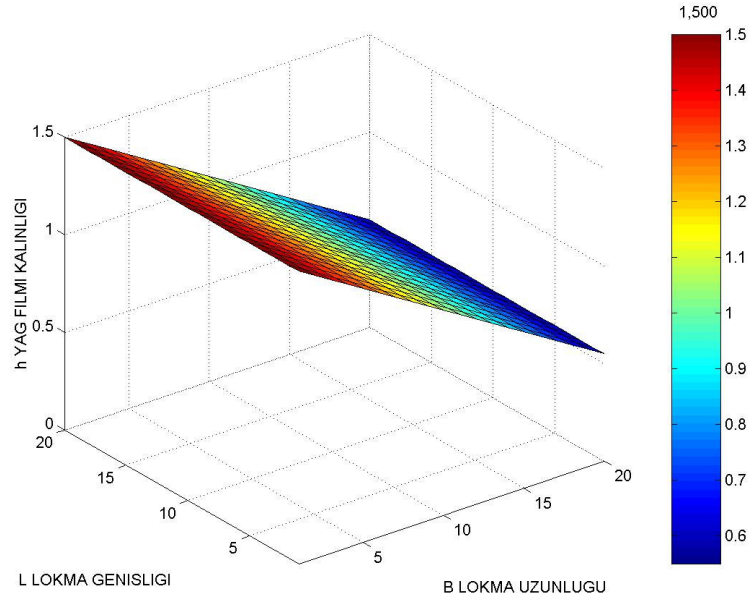
Çizelge 6.14 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/2$)

L (Lokma Genişliği)

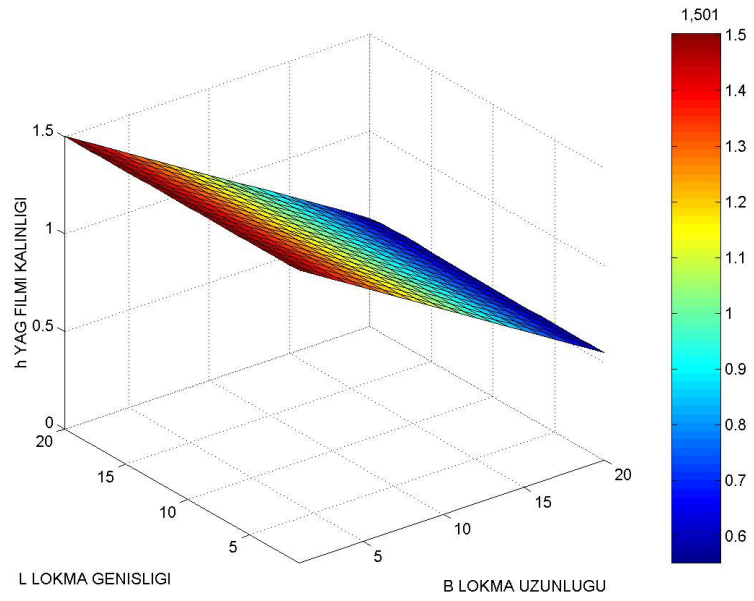
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 2 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 3 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 4 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 5 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1510 | 1,1010 | 1,0510 |
| | 6 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3010 | 1,2510 | 1,2010 | 1,1511 | 1,1011 | 1,0511 |
| | 7 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3510 | 1,3011 | 1,2511 | 1,2011 | 1,1511 | 1,1011 | 1,0511 |
| | 8 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4010 | 1,3511 | 1,3011 | 1,2511 | 1,2011 | 1,1512 | 1,1012 | 1,0512 |
| | 9 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4011 | 1,3511 | 1,3011 | 1,2512 | 1,2012 | 1,1512 | 1,1013 | 1,0513 |
| | 10 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4011 | 1,3511 | 1,3012 | 1,2512 | 1,2013 | 1,1514 | 1,1014 | 1,0515 |
| | 11 | 1,5010 | 1,4511 | 1,4011 | 1,3512 | 1,3013 | 1,2513 | 1,2014 | 1,1515 | 1,1016 | 1,0517 |
| | 12 | 1,5010 | 1,4511 | 1,4012 | 1,3513 | 1,3014 | 1,2515 | 1,2016 | 1,1517 | 1,1018 | 1,0520 |
| | 13 | 1,5010 | 1,4511 | 1,4012 | 1,3513 | 1,3015 | 1,2516 | 1,2018 | 1,1519 | 1,1021 | 1,0523 |
| | 14 | 1,5010 | 1,4511 | 1,4013 | 1,3514 | 1,3016 | 1,2518 | 1,2020 | 1,1522 | 1,1025 | 1,0527 |
| | 15 | 1,5010 | 1,4512 | 1,4014 | 1,3516 | 1,3018 | 1,2520 | 1,2023 | 1,1525 | 1,1028 | 1,0531 |
| | 16 | 1,5010 | 1,4512 | 1,4014 | 1,3517 | 1,3019 | 1,2522 | 1,2025 | 1,1528 | 1,1031 | 1,0534 |
| | 17 | 1,5010 | 1,4512 | 1,4015 | 1,3517 | 1,3020 | 1,2523 | 1,2026 | 1,1529 | 1,1032 | 1,0535 |
| | 18 | 1,5010 | 1,4512 | 1,4015 | 1,3517 | 1,3019 | 1,2522 | 1,2025 | 1,1527 | 1,1030 | 1,0533 |
| | 19 | 1,5010 | 1,4512 | 1,4014 | 1,3515 | 1,3017 | 1,2518 | 1,2020 | 1,1522 | 1,1024 | 1,0526 |
| | 20 | 1,5010 | 1,4510 | 1,4011 | 1,3511 | 1,3012 | 1,2513 | 1,2014 | 1,1515 | 1,1016 | 1,0517 |

L (Lokma Genişliği)

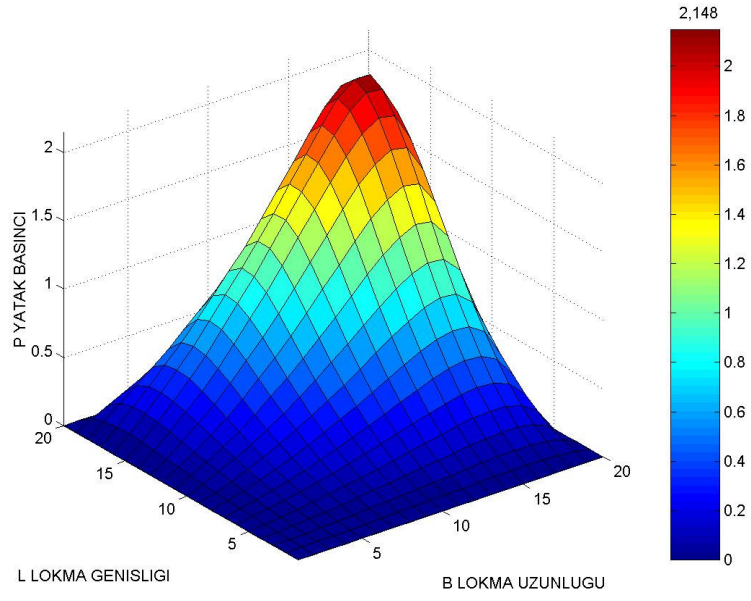
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,0010 | 0,9510 | 0,9010 | 0,8510 | 0,8010 | 0,7510 | 0,7010 | 0,6510 | 0,6010 | 0,5510 |
| | 2 | 1,0010 | 0,9510 | 0,9010 | 0,8510 | 0,8010 | 0,7510 | 0,7010 | 0,6510 | 0,6010 | 0,5510 |
| | 3 | 1,0010 | 0,9510 | 0,9010 | 0,8510 | 0,8010 | 0,7510 | 0,7010 | 0,6510 | 0,6010 | 0,5510 |
| | 4 | 1,0010 | 0,9510 | 0,9010 | 0,8510 | 0,8010 | 0,7510 | 0,7010 | 0,6510 | 0,6010 | 0,5510 |
| | 5 | 1,0010 | 0,9511 | 0,9011 | 0,8511 | 0,8011 | 0,7511 | 0,7011 | 0,6511 | 0,6010 | 0,5511 |
| | 6 | 1,0011 | 0,9511 | 0,9011 | 0,8511 | 0,8011 | 0,7511 | 0,7011 | 0,6511 | 0,6011 | 0,5511 |
| | 7 | 1,0011 | 0,9512 | 0,9012 | 0,8512 | 0,8012 | 0,7512 | 0,7012 | 0,6512 | 0,6011 | 0,5512 |
| | 8 | 1,0012 | 0,9513 | 0,9013 | 0,8513 | 0,8013 | 0,7514 | 0,7014 | 0,6513 | 0,6012 | 0,5514 |
| | 9 | 1,0014 | 0,9514 | 0,9015 | 0,8515 | 0,8015 | 0,7516 | 0,7016 | 0,6515 | 0,6013 | 0,5516 |
| | 10 | 1,0016 | 0,9516 | 0,9017 | 0,8518 | 0,8018 | 0,7519 | 0,7018 | 0,6517 | 0,6015 | 0,5519 |
| | 11 | 1,0018 | 0,9519 | 0,9020 | 0,8521 | 0,8022 | 0,7522 | 0,7022 | 0,6521 | 0,6018 | 0,5522 |
| | 12 | 1,0021 | 0,9523 | 0,9024 | 0,8526 | 0,8027 | 0,7527 | 0,7027 | 0,6525 | 0,6020 | 0,5527 |
| | 13 | 1,0025 | 0,9527 | 0,9029 | 0,8531 | 0,8032 | 0,7533 | 0,7033 | 0,6530 | 0,6024 | 0,5533 |
| | 14 | 1,0029 | 0,9532 | 0,9034 | 0,8537 | 0,8038 | 0,7540 | 0,7039 | 0,6536 | 0,6028 | 0,5540 |
| | 15 | 1,0034 | 0,9537 | 0,9039 | 0,8542 | 0,8045 | 0,7546 | 0,7046 | 0,6542 | 0,6032 | 0,5548 |
| | 16 | 1,0037 | 0,9540 | 0,9044 | 0,8547 | 0,8050 | 0,7552 | 0,7052 | 0,6548 | 0,6037 | 0,5556 |
| | 17 | 1,0038 | 0,9542 | 0,9046 | 0,8550 | 0,8053 | 0,7556 | 0,7056 | 0,6552 | 0,6040 | 0,5562 |
| | 18 | 1,0036 | 0,9540 | 0,9043 | 0,8547 | 0,8051 | 0,7554 | 0,7054 | 0,6551 | 0,6040 | 0,5563 |
| | 19 | 1,0028 | 0,9530 | 0,9033 | 0,8536 | 0,8039 | 0,7541 | 0,7042 | 0,6541 | 0,6033 | 0,5554 |
| | 20 | 1,0018 | 0,9519 | 0,9021 | 0,8522 | 0,8024 | 0,7525 | 0,7026 | 0,6525 | 0,6021 | 0,5511 |



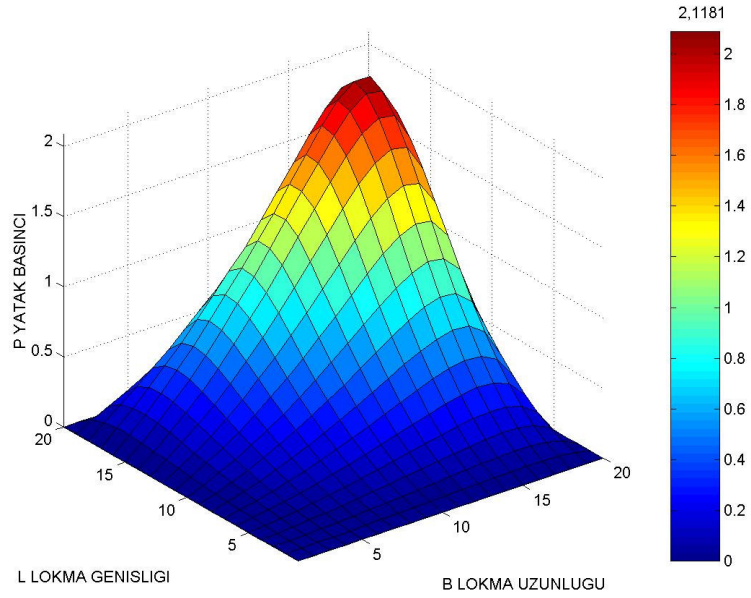
Şekil 6.13 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.14 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.15 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.16 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/2$)

Çizelge 6.17 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/2$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 2 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 3 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 4 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 5 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 6 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 7 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 8 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 9 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 10 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 11 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 12 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 13 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 14 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 15 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 16 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 17 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 18 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 19 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 20 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 2 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 3 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 4 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 5 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 6 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 7 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 8 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 9 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 10 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 11 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 12 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 13 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 14 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 15 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 16 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 17 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 18 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 19 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 20 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |

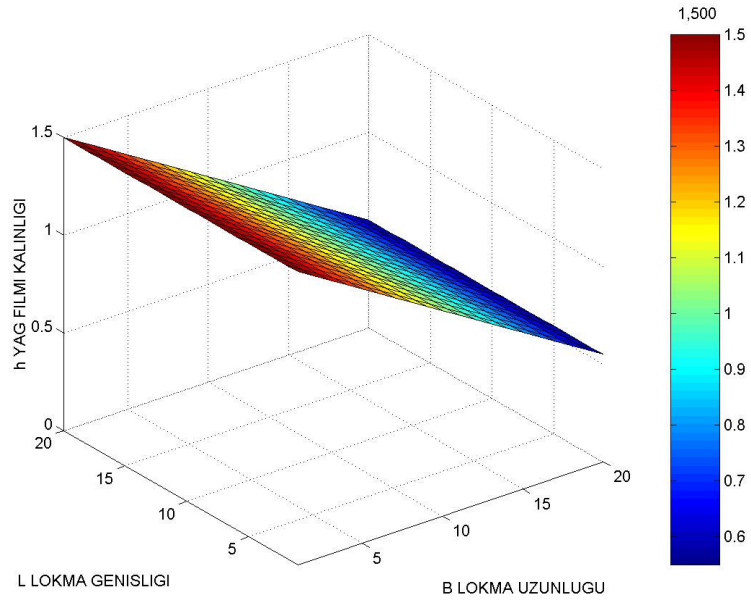
Çizelge 6.18 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/2$)

L (Lokma Genişliği)

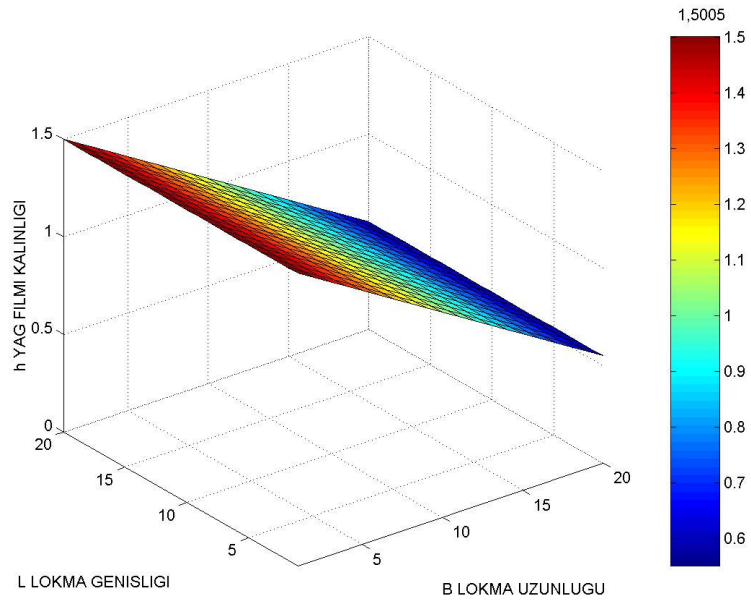
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 2 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 3 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 4 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 5 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 6 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 7 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 8 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 9 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 10 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0506 |
| | 11 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1006 | 1,0506 |
| | 12 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1006 | 1,0506 |
| | 13 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1006 | 1,0506 |
| | 14 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1506 | 1,1006 | 1,0506 |
| | 15 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1006 | 1,0506 |
| | 16 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1006 | 1,0506 |
| | 17 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0506 |
| | 18 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 19 | 1,5005 | 1,4505 | 1,4005 | 1,3505 | 1,3005 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |
| | 20 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 |

L (Lokma Genişliği)

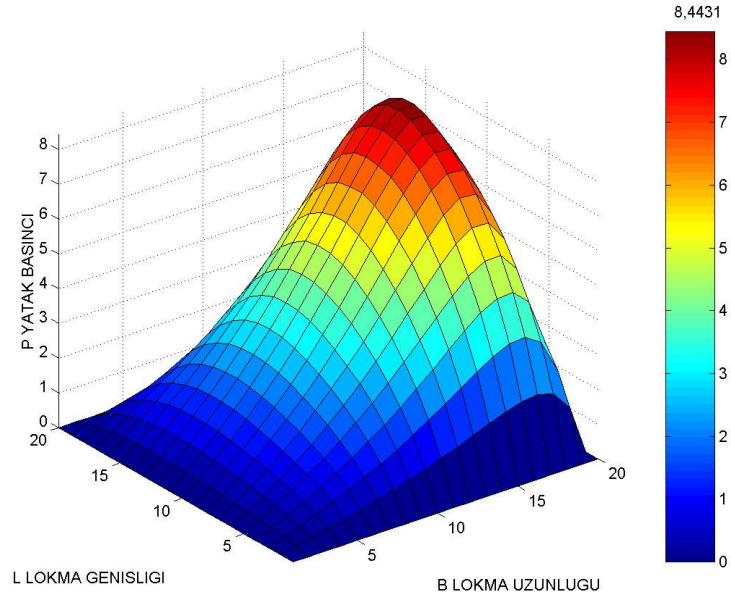
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 |
| | 2 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 |
| | 3 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 |
| | 4 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 |
| | 5 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 |
| | 6 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8006 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6005 | 0,5506 |
| | 7 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6005 | 0,5506 |
| | 8 | 1,0005 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6005 | 0,5506 |
| | 9 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5506 |
| | 10 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5506 |
| | 11 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 12 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8007 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 13 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8507 | 0,8007 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6507 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 14 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8007 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6507 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 15 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8007 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6507 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 16 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8007 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6507 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 17 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 18 | 1,0005 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5507 |
| | 19 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6005 | 0,5506 |
| | 20 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6005 | 0,5504 |



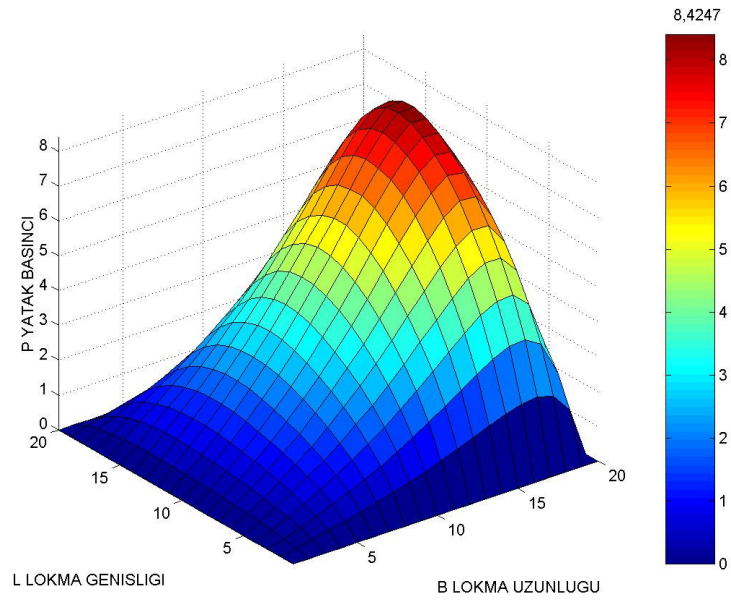
Şekil 6.17 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.18 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.19 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.20 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/2$)

Çizelge 6.21 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/2$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 2 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 3 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 4 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 5 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 6 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 7 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 8 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 9 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 10 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 11 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 12 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 13 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 14 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 15 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 16 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 17 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 18 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 19 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |
| | 20 | 1,5000 | 1,4500 | 1,4000 | 1,3500 | 1,3000 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 2 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 3 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 4 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 5 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 6 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 7 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 8 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 9 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 10 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 11 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 12 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 13 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 14 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 15 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 16 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 17 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 18 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 19 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |
| | 20 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 |

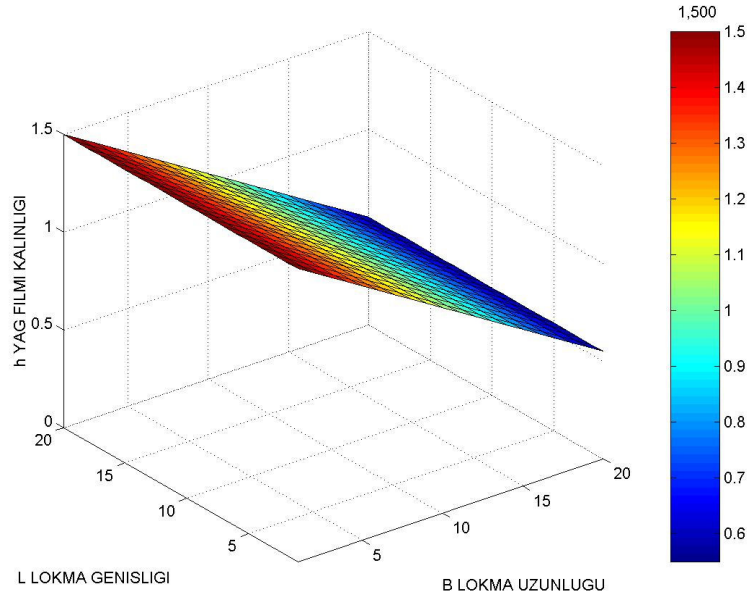
Çizelge 6.22 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/2$)

L (Lokma Genişliği)

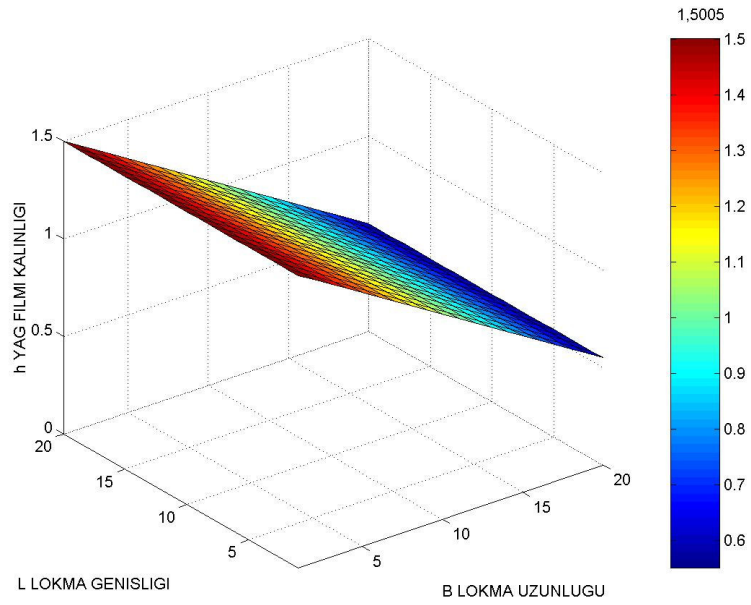
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 2 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 3 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 4 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 5 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 6 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 7 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 8 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 9 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 10 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 11 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 12 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 13 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 14 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 15 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 16 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 17 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 18 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 19 | 1,5005 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |
| | 20 | 1,5004 | 1,4504 | 1,4004 | 1,3504 | 1,3004 | 1,2504 | 1,2004 | 1,1504 | 1,1004 | 1,0504 |

L (Lokma Genişliği)

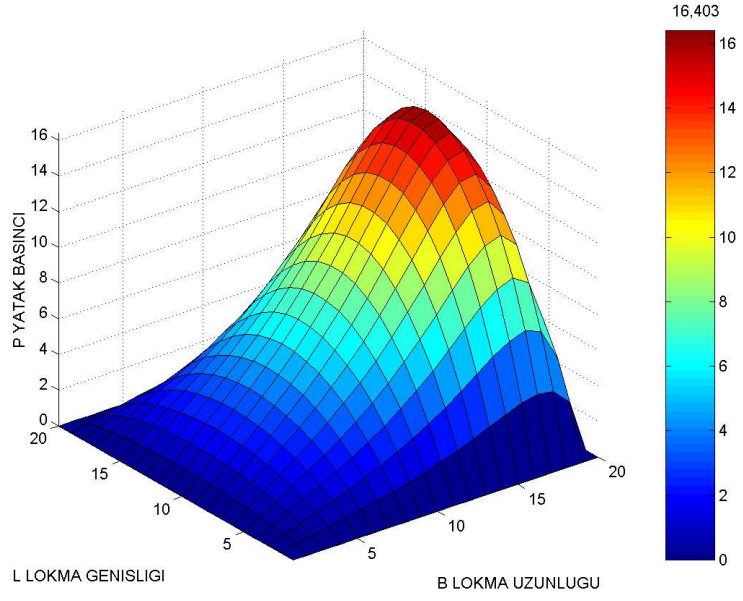
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5504 |
| | 2 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5504 |
| | 3 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5504 |
| | 4 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5504 |
| | 5 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5504 |
| | 6 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 7 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 8 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 9 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 10 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 11 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 12 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 13 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 14 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 15 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 16 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8505 | 0,8005 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 17 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 18 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 19 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5505 |
| | 20 | 1,0004 | 0,9504 | 0,9004 | 0,8504 | 0,8004 | 0,7504 | 0,7004 | 0,6504 | 0,6004 | 0,5504 |



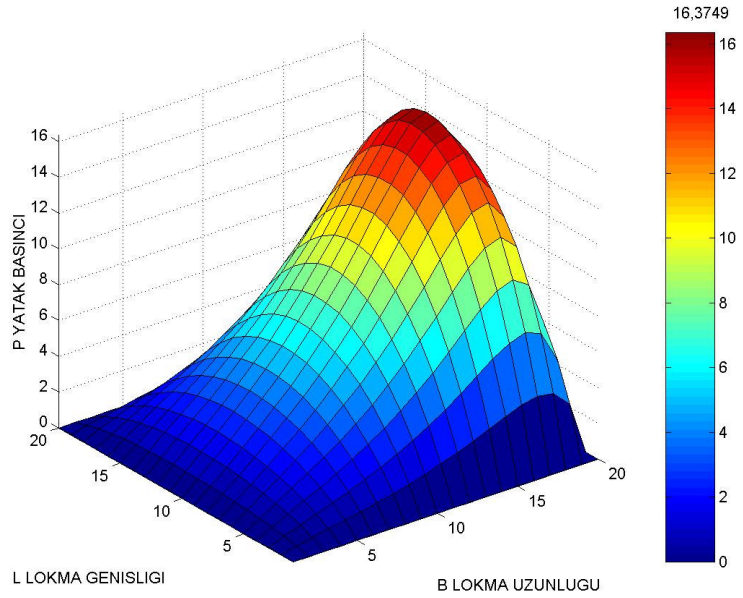
Şekil 6.21 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.22 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.23 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/2$)



Şekil 6.24 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/2$)

Çizelge 6.25 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/4$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 2 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 3 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 4 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 5 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 6 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 7 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 8 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 9 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 10 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 11 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 12 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 13 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 14 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 15 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 16 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 17 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 18 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 19 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 20 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 2 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 3 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 4 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 5 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 6 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 7 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 8 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 9 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 10 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 11 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 12 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 13 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 14 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 15 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 16 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 17 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 18 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 19 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 20 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |

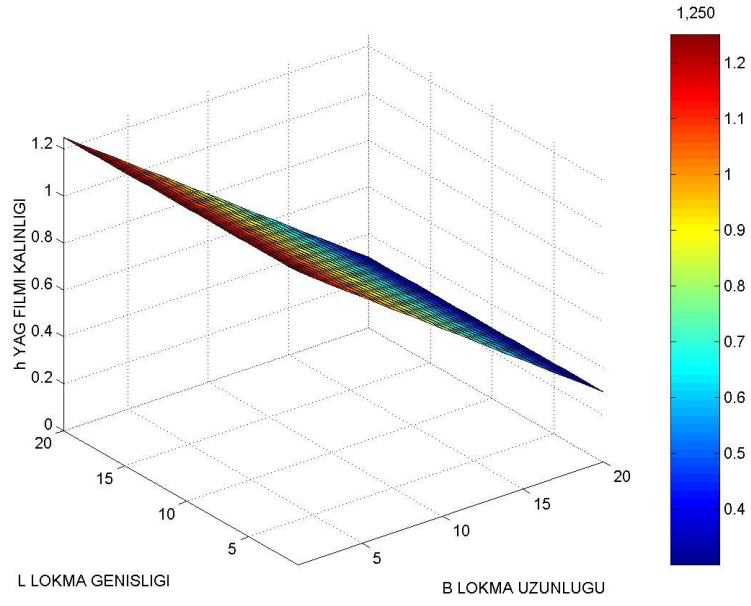
Çizelge 6.26 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/4$)

L (Lokma Genişliği)

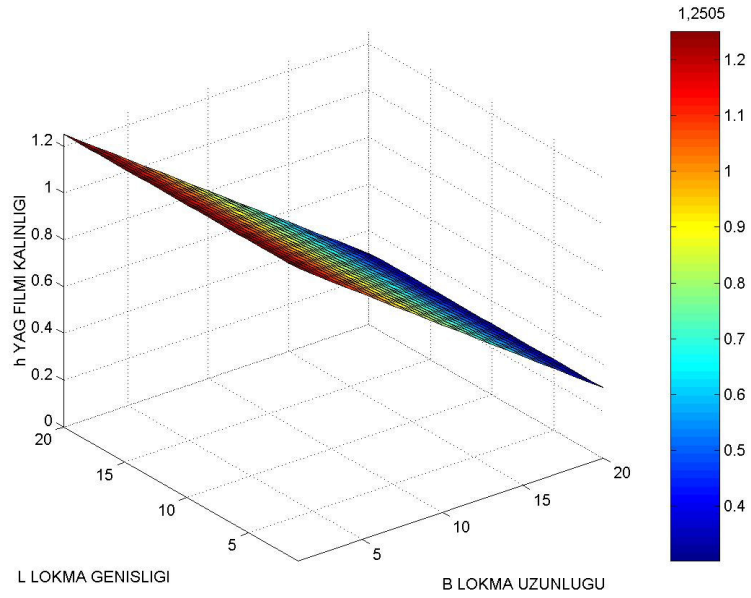
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 |
| | 2 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 |
| | 3 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 |
| | 4 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 |
| | 5 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 |
| | 6 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 |
| | 7 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8005 |
| | 8 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9005 | 0,8505 | 0,8006 |
| | 9 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9505 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 |
| | 10 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 |
| | 11 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0506 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8007 |
| | 12 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1006 | 1,0506 | 1,0006 | 0,9506 | 0,9007 | 0,8507 | 0,8007 |
| | 13 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1506 | 1,1006 | 1,0506 | 1,0006 | 0,9507 | 0,9007 | 0,8508 | 0,8008 |
| | 14 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1506 | 1,1006 | 1,0506 | 1,0007 | 0,9507 | 0,9008 | 0,8508 | 0,8009 |
| | 15 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1506 | 1,1006 | 1,0507 | 1,0007 | 0,9508 | 0,9008 | 0,8509 | 0,8010 |
| | 16 | 1,2505 | 1,2006 | 1,1506 | 1,1006 | 1,0507 | 1,0008 | 0,9508 | 0,9009 | 0,8510 | 0,8011 |
| | 17 | 1,2505 | 1,2006 | 1,1506 | 1,1007 | 1,0507 | 1,0008 | 0,9509 | 0,9009 | 0,8510 | 0,8011 |
| | 18 | 1,2505 | 1,2006 | 1,1506 | 1,1007 | 1,0507 | 1,0008 | 0,9508 | 0,9009 | 0,8510 | 0,8011 |
| | 19 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1506 | 1,1006 | 1,0507 | 1,0007 | 0,9507 | 0,9008 | 0,8508 | 0,8009 |
| | 20 | 1,2505 | 1,2005 | 1,1505 | 1,1005 | 1,0505 | 1,0005 | 0,9506 | 0,9006 | 0,8506 | 0,8006 |

L (Lokma Genişliği)

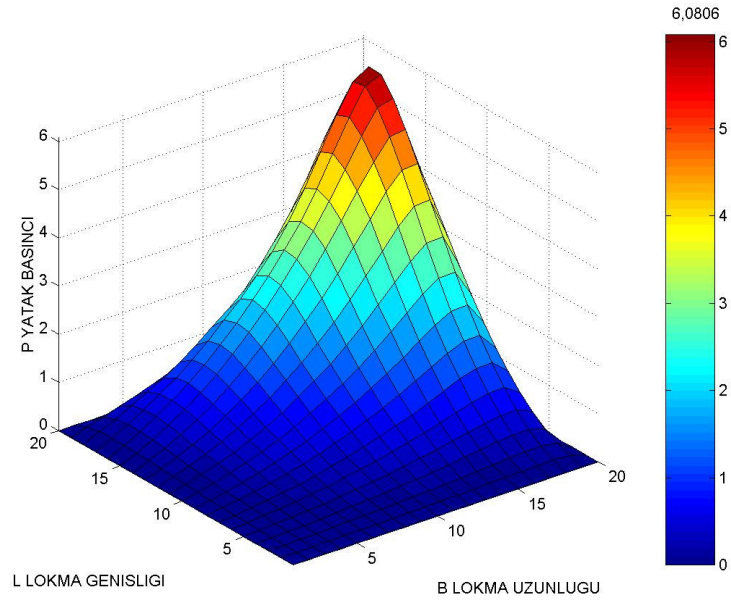
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 | 0,5005 | 0,4505 | 0,4005 | 0,3505 | 0,3005 |
| | 2 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 | 0,5005 | 0,4505 | 0,4005 | 0,3505 | 0,3005 |
| | 3 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 | 0,5005 | 0,4505 | 0,4005 | 0,3505 | 0,3005 |
| | 4 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 | 0,5005 | 0,4505 | 0,4005 | 0,3505 | 0,3005 |
| | 5 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 | 0,5005 | 0,4505 | 0,4005 | 0,3505 | 0,3005 |
| | 6 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6505 | 0,6005 | 0,5505 | 0,5005 | 0,4505 | 0,4005 | 0,3505 | 0,3006 |
| | 7 | 0,7505 | 0,7005 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5506 | 0,5006 | 0,4506 | 0,4006 | 0,3506 | 0,3006 |
| | 8 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5506 | 0,5006 | 0,4506 | 0,4006 | 0,3506 | 0,3007 |
| | 9 | 0,7506 | 0,7006 | 0,6506 | 0,6006 | 0,5507 | 0,5007 | 0,4507 | 0,4007 | 0,3507 | 0,3008 |
| | 10 | 0,7506 | 0,7007 | 0,6507 | 0,6007 | 0,5507 | 0,5008 | 0,4508 | 0,4008 | 0,3507 | 0,3009 |
| | 11 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6508 | 0,6008 | 0,5508 | 0,5009 | 0,4509 | 0,4009 | 0,3508 | 0,3011 |
| | 12 | 0,7508 | 0,7008 | 0,6509 | 0,6009 | 0,5510 | 0,5010 | 0,4511 | 0,4011 | 0,3510 | 0,3013 |
| | 13 | 0,7509 | 0,7009 | 0,6510 | 0,6011 | 0,5511 | 0,5012 | 0,4513 | 0,4013 | 0,3511 | 0,3016 |
| | 14 | 0,7510 | 0,7010 | 0,6511 | 0,6012 | 0,5513 | 0,5014 | 0,4515 | 0,4015 | 0,3513 | 0,3020 |
| | 15 | 0,7511 | 0,7012 | 0,6513 | 0,6014 | 0,5515 | 0,5016 | 0,4517 | 0,4017 | 0,3515 | 0,3024 |
| | 16 | 0,7512 | 0,7013 | 0,6514 | 0,6015 | 0,5517 | 0,5018 | 0,4520 | 0,4020 | 0,3517 | 0,3028 |
| | 17 | 0,7512 | 0,7013 | 0,6515 | 0,6016 | 0,5518 | 0,5020 | 0,4522 | 0,4022 | 0,3519 | 0,3032 |
| | 18 | 0,7512 | 0,7013 | 0,6514 | 0,6016 | 0,5518 | 0,5020 | 0,4522 | 0,4022 | 0,3520 | 0,3033 |
| | 19 | 0,7510 | 0,7011 | 0,6512 | 0,6013 | 0,5514 | 0,5016 | 0,4518 | 0,4019 | 0,3517 | 0,3030 |
| | 20 | 0,7507 | 0,7007 | 0,6508 | 0,6009 | 0,5509 | 0,5010 | 0,4511 | 0,4012 | 0,3511 | 0,3006 |



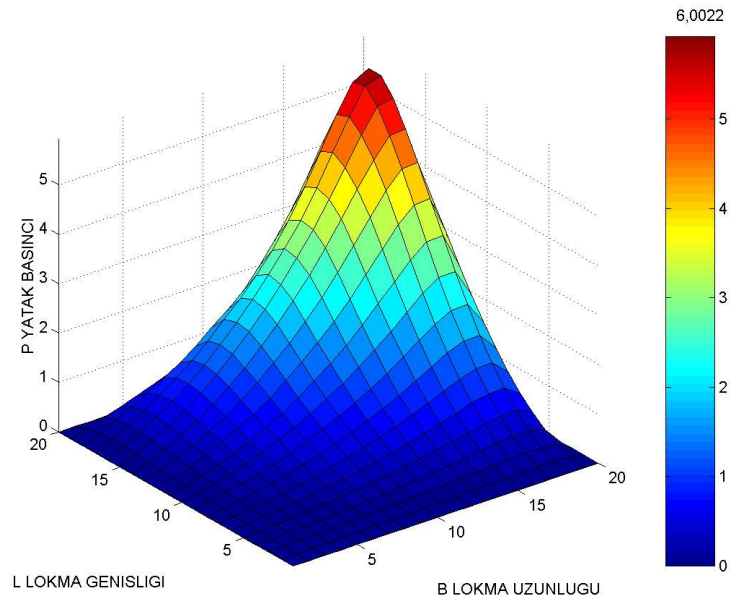
Şekil 6.25 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.26 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.27 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.28 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1$, $h_2/\delta = 1/4$)

Çizelge 6.29 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/4$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 2 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 3 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 4 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 5 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 6 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 7 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 8 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 9 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 10 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 11 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 12 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 13 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 14 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 15 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 16 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 17 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 18 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 19 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 20 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 2 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 3 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 4 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 5 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 6 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 7 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 8 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 9 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 10 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 11 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 12 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 13 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 14 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 15 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 16 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 17 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 18 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 19 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 20 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |

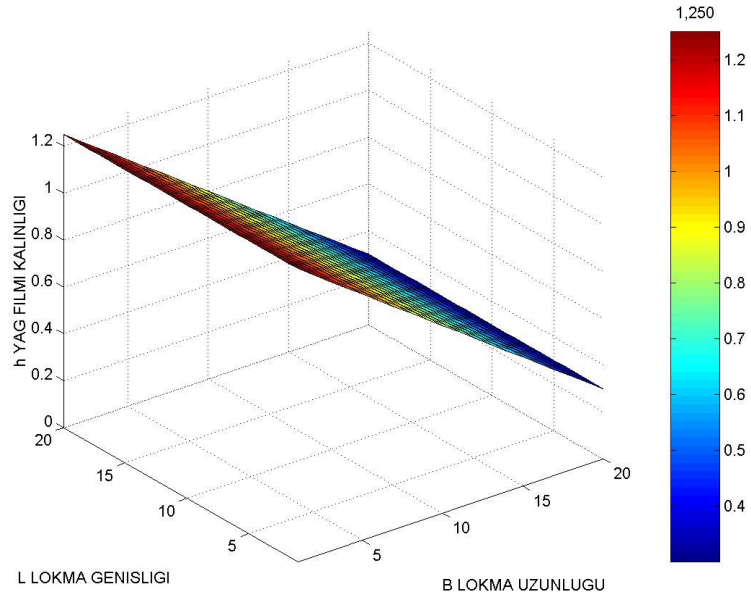
Çizelge 6.30 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/4$)

L (Lokma Genişliği)

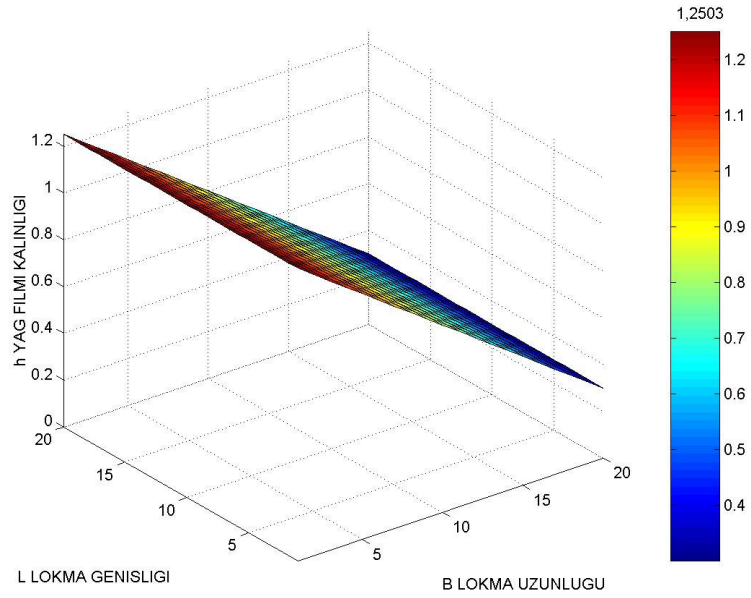
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 2 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 3 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 4 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 5 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 6 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 7 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8003 |
| | 8 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 9 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 10 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 11 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9503 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 12 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9503 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 13 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9503 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 14 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0003 | 0,9503 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 15 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0003 | 0,9503 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 16 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9503 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 17 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9503 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 18 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9003 | 0,8503 | 0,8003 |
| | 19 | 1,2503 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 20 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |

L (Lokma Genişliği)

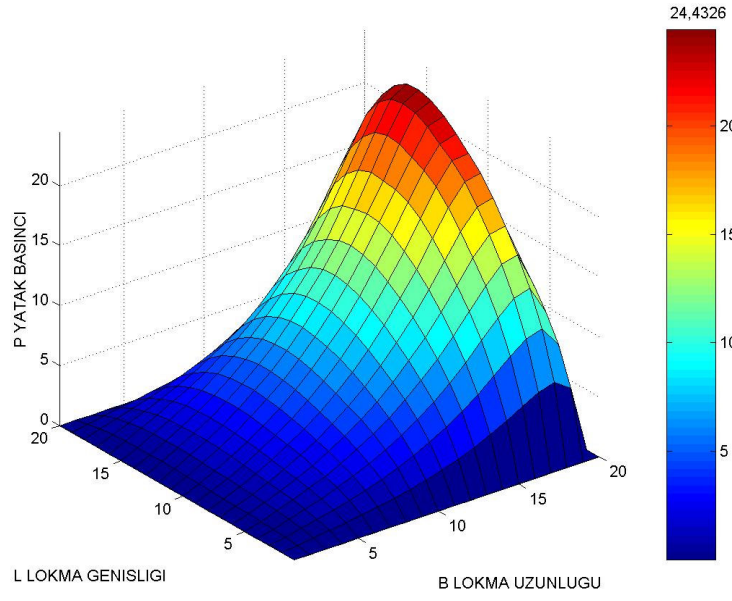
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 2 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3003 |
| | 3 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 4 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 5 | 0,7502 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 6 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 7 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 8 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 9 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 10 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 11 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 12 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 13 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3004 |
| | 14 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3004 |
| | 15 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3004 |
| | 16 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3004 |
| | 17 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3004 |
| | 18 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3004 |
| | 19 | 0,7503 | 0,7003 | 0,6503 | 0,6003 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3003 |
| | 20 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5503 | 0,5003 | 0,4503 | 0,4003 | 0,3503 | 0,3002 |



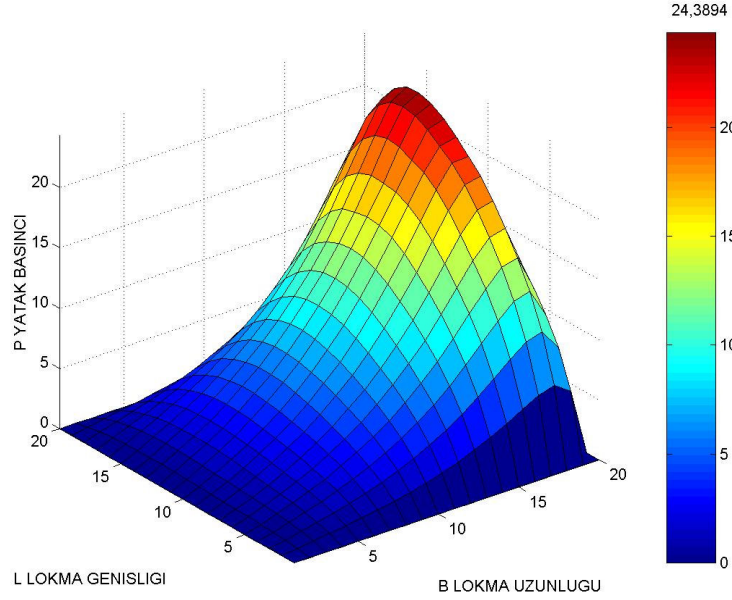
Şekil 6.29 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.30 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.31 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.32 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/2$, $h_2/\delta = 1/4$)

Çizelge 6.33 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/4$)

L (Lokma Genişliği)

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 2 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 3 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 4 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 5 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 6 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 7 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 8 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 9 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 10 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 11 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 12 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 13 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 14 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 15 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 16 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 17 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 18 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 19 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |
| | 20 | 1,2500 | 1,2000 | 1,1500 | 1,1000 | 1,0500 | 1,0000 | 0,9500 | 0,9000 | 0,8500 | 0,8000 |

L (Lokma Genişliği)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 2 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 3 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 4 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 5 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 6 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 7 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 8 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 9 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 10 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 11 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 12 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 13 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 14 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 15 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 16 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 17 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 18 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 19 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |
| | 20 | 0,7500 | 0,7000 | 0,6500 | 0,6000 | 0,5500 | 0,5000 | 0,4500 | 0,4000 | 0,3500 | 0,3000 |

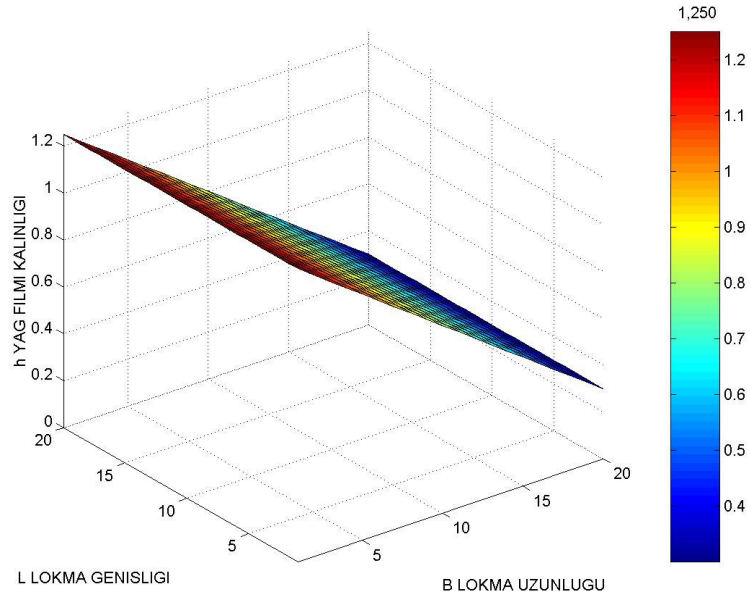
Çizelge 6.34 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/4$)

L (Lokma Genişliği)

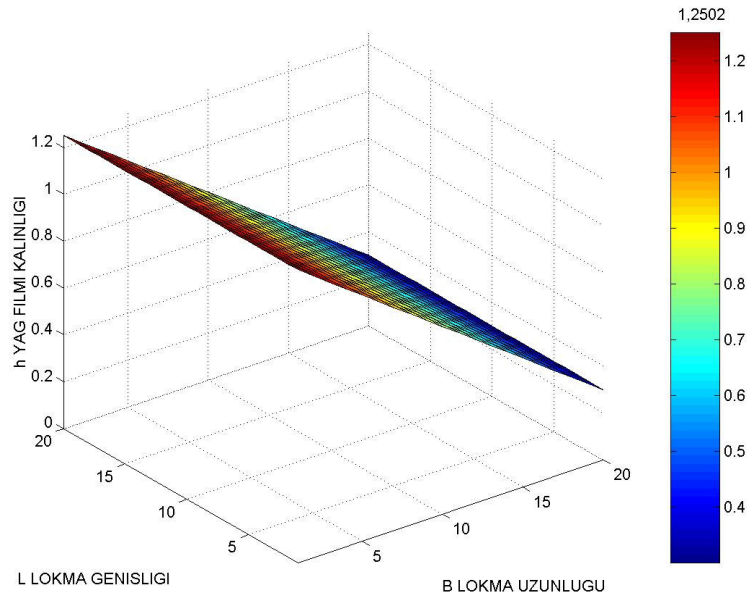
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 2 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 3 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 4 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 5 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 6 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 7 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 8 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 9 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 10 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 11 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 12 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 13 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 14 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 15 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 16 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 17 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 18 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 19 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |
| | 20 | 1,2502 | 1,2002 | 1,1502 | 1,1002 | 1,0502 | 1,0002 | 0,9502 | 0,9002 | 0,8502 | 0,8002 |

L (Lokma Genişliği)

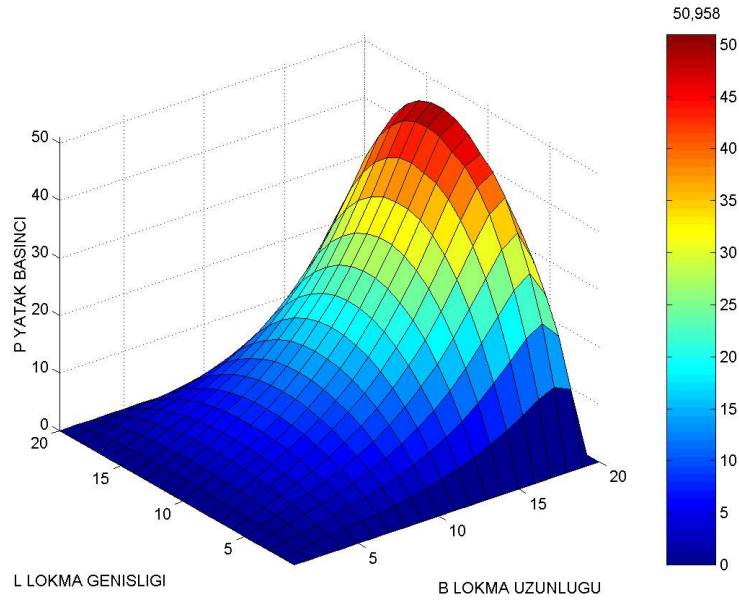
| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B (Lokma Uzunluğu) | 1 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 2 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 3 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 4 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 5 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 6 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 7 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 8 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 9 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 10 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 11 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3003 |
| | 12 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3003 |
| | 13 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3003 |
| | 14 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3003 |
| | 15 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3003 |
| | 16 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3003 |
| | 17 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 18 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 19 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |
| | 20 | 0,7502 | 0,7002 | 0,6502 | 0,6002 | 0,5502 | 0,5002 | 0,4502 | 0,4002 | 0,3502 | 0,3002 |



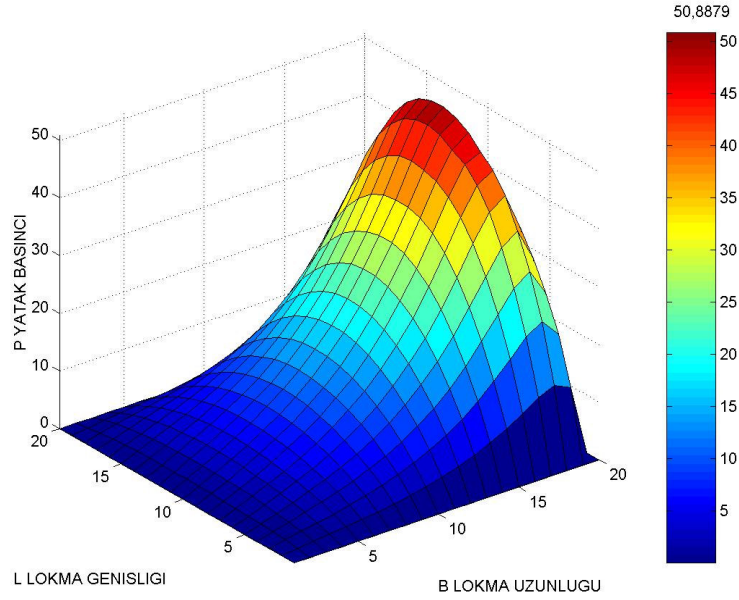
Şekil 6.33 Deformasyon öncesi boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.34 Deformasyon sonrası boyutsuz yağ filmi kalınlığı ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.35 Deformasyon öncesi boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/4$)



Şekil 6.36 Deformasyon sonrası boyutsuz basınç değerleri ($L/R_d = 1/3$, $h_2/\delta = 1/4$)

Çizelge 6.37 Deformasyonların grafiksel değerleri

| | |
|---------------------------------|--|
| $L/R_d = 1, h_2/\delta = 1$ | |
| $L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1$ | |
| $L/R_d = 1/3, h_2/\delta = 1$ | |
| $L/R_d = 1, h_2/\delta = 1/2$ | |
| $L/R_d = 1/2, h_2/\delta = 1/2$ | |

Çizelge 6.37 (Devam) Deformasyonların grafiksel değerleri

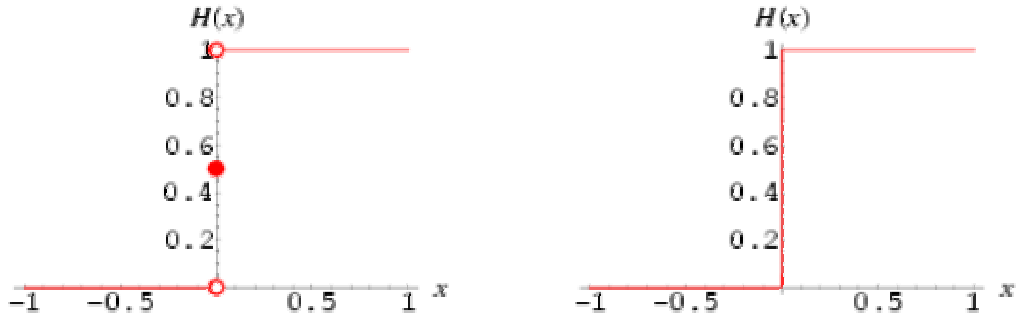
| | |
|-------------------------------|--|
| $L/R_d=1/3 , h_2/\delta =1/2$ | |
| $L/R_d=1 , h_2/\delta =1/4$ | |
| $L/R_d=1/2 , h_2/\delta =1/4$ | |
| $L/R_d=1/3 , h_2/\delta =1/4$ | |

EK-2

Heaviside fonksiyonu, aynı zamanda birim basamak fonksiyonu olarak da bilinen süreksiz bir fonksiyondur. Heaviside fonksiyonu,

$$H(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \frac{1}{2} & x = 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases}$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 6.37).



Şekil 6.37 Heaviside fonksiyonu

Fonksiyonun tanımı yukarıda gösterildiği gibi olmakla birlikte $H(0)$ değeri için genellikle $H(0) = 1/2$ yerine $H(0) = 1$ alınır. Şekil 6.37’de soldaki resim fonksiyonu tanımlamakta, sağdaki resim ise bir osiloskopta nasıl görüntüleneceğini göstermektedir.

Heaviside fonksiyonu, kontrol teorisi ve sinyal işleme matematiğinde, belirli bir anda devreye giren ve o değerde kalan bir sinyali tanımlamak için kullanılır.

EK-3

MATLAB programında hesaplamaların yapılabilmesi için yazılan program metni aşağıdadır.

```

LR2=1;
H2DELTA=1;
ACI=30;
BETA=ACI*pi/180;
M=20;
N=20;
S=20;
DR=LR2/M;
DTETA=BETA/N;
WR=1.7;
SEPS=0.01;
ITMAX=1000;
for I=1:M;
    TETA=-DTETA;
    for J=1:N;
        TETA=TETA+DTETA;
        H(I,J)=H2DELTA+(1-TETA/BETA);
    end;
end;
figure
CIZ=size(H);
surf(1:1:CIZ(2),1:1:CIZ(1),H);
axis([1 CIZ(2) 1 CIZ(1) 0 max(max(H))]);
xlabel('B LOKMA UZUNLUGU');
ylabel('L LOKMA GENISLIGI');
zlabel('h YAG FILMI KALINLIGI');
colorbar('vert');
for I=1:M;
    for J=1:N;
        P(I,J)=0;
    end;
end;
for I=1:M;
    R(I)=1-LR2+(LR2*I/M);
end;
for ITER=1:ITMAX;
    TOP=0;
    HATA=0;
    for I=2:M-1;
        for J=2:N-1;
            PESKI=P(I,J);

```

```

PAY1=12*pi*R(I)*((1/LR2)^2)*(H(I,J-1)-H(I,J+1))/DTETA;
PAY2=P(I+1,J)*(H(I,J)^3)*R(I+1)/(DR^2);
PAY3=P(I-1,J)*(H(I,J)^3)*R(I-1)/(DR^2);
PAY4=P(I,J+1)*(H(I,J+1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));
PAY5=P(I,J-1)*(H(I,J-1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));
PAYDA1=(H(I,J)^3)*R(I+1)/(DR^2);
PAYDA2=(H(I,J)^3)*R(I-1)/(DR^2);
PAYDA3=(H(I,J+1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));
PAYDA4=(H(I,J-1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));

```

```

P(I,J)=(PAY1+PAY2+PAY3+PAY4+PAY5)/(PAYDA1+PAYDA2+PAYDA3+PAYDA4);

```

```

P(I,J)=PESKI+WR*(P(I,J)-PESKI);

```

```

if P(I,J)<0;

```

```

    P(I,J)=0;

```

```

end;

```

```

HATA=HATA+abs(PESKI-P(I,J));

```

```

TOP=TOP+abs(P(I,J));

```

```

end;

```

```

end;

```

```

EPS=HATA/TOP;

```

```

if EPS<SEPS;

```

```

    break;

```

```

end;

```

```

end;

```

```

EPS

```

```

max(max(P))

```

```

P(:,:)

```

```

figure

```

```

CIZ=size(P);

```

```

surf(1:1:CIZ(2),1:1:CIZ(1),P);

```

```

axis([1 CIZ(2) 1 CIZ(1) 0 max(max(P))]);

```

```

xlabel('B LOKMA UZUNLUGU');

```

```

ylabel('L LOKMA GENISLIGI');

```

```

zlabel('P YATAK BASINCI');

```

```

colorbar('vert');

```

```

%YATAGIN KALDIRMA KUVVETININ HESABI

```

```

XTP=0;

```

```

GTP=0;

```

```

for J=1:N;

```

```

    XTOP=0;

```

```

    L=1;

```

```

    while L<=M-2

```

```

        L=L+2;

```

```

        TER1=4*P(J,L);

```

```

        TER2=2*P(J,L+1);

```

```

        XTOP=XTOP+TER1+TER2;

```

```

    end;

```

```

    XTP=XTOP+P(J,1)+P(J,M);
    XINT(J)=DR*XTP/3;
end;
GTOP=0;
I=1;
while I<=N-2
    I=I+2;
    TER1=4*XINT(I);
    TER2=2*XINT(I+1);
    GTOP=GTOP+TER1+TER2;
end;
GTP=GTOP+XINT(1)+XINT(N);
PINTEG=DTETA*GTP/3
%
R2=60;
L=LR2*R2;
R1=R2-L;
H2=0.005+0.0002*R1;
DELTA=H2/H2DELTA;
T=20;
VISK=0.033e-6;
DEVIR=3000*pi/30;
BOYUT_KAT=VISK*DEVIR*((L/DELTA)^2);
DR=L/M;
EY=90000;
NUY=0.33;
LAMDAY=NUY*EY/((1+NUY)*(1-2*NUY));
MUY=EY/(2*(1+NUY));
SEPS=0.0001;
WR=0.01;
for I=1:M;
    for J=1:N;
        P(I,J)=P(I,J)*BOYUT_KAT;
    end;
end;
for I=1:M;
    R(I)=R(I)*R2;
end;
for J=1:N;
    DZ(J)=(T-DELTA+((J-1)/(N-1)*DELTA))/S;
end;
for I=1:M+2;
    for J=1:N+2;
        for K=1:S+2;
            UY(I,J,K)=0.00001;
            VY(I,J,K)=0.00001;
            WY(I,J,K)=0.00001;
        end;
    end;
end;

```

```

end;
end;
for ITER=1:4
  ITER
  HATAUY=0;
  HATAVY=0;
  HATAWY=0;
  TOPUY=0;
  TOPVY=0;
  TOPWY=0;
  for I=1:M+2;
    for J=1:N+2;
      for K=1:S+2;
        UYESKI(I,J,K)=UY(I,J,K);
        VYESKI(I,J,K)=VY(I,J,K);
        WYESKI(I,J,K)=WY(I,J,K);
      end;
    end;
  end;
  for K=2:S-1;
    for I=2:M-1;
      for J=2:N-1;
        PAY71=UY(I+1,J,K)*(((LAMDAY+2*MUY)/(DR^2))+((LAMDAY+2*MUY)/(R(I)*
        2*DR)));
        PAY72=UY(I-1,J,K)*(((LAMDAY+2*MUY)/(DR^2))-
        ((LAMDAY+2*MUY)/(R(I)*2*DR)));
        PAY73=UY(I,J+1,K)*MUY/((R(I)^2)*(DTETA^2));
        PAY74=UY(I,J-1,K)*MUY/((R(I)^2)*(DTETA^2));
        PAY75=UY(I,J,K+1)*MUY/(DZ(J)^2);
        PAY76=UY(I,J,K-1)*MUY/(DZ(J)^2);
        PAY77=-VY(I,J+1,K)*3*MUY/((R(I)^2)*2*DTETA);
        PAY78=VY(I,J-1,K)*3*MUY/((R(I)^2)*2*DTETA);
        PAY79=VY(I+1,J+1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)^4*DR*DTETA);
        PAY710=VY(I-1,J-1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)^4*DR*DTETA);
        PAY711=-VY(I-1,J+1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)^4*DR*DTETA);
        PAY712=-VY(I+1,J-1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)^4*DR*DTETA);
        PAY713=WY(I+1,J,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
        PAY714=WY(I-1,J,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
        PAY715=-WY(I-1,J,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
        PAY716=-WY(I+1,J,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
        PAYDA71=-2*(LAMDAY+2*MUY)/(DR^2);
        PAYDA72=-2*MUY/((R(I)^2)*(DTETA^2));
        PAYDA73=-2*MUY/(DZ(J)^2);
        PAYDA74=-2*MUY/(R(I)^2);
        UY(I,J,K)=(-PAY71-PAY72-PAY73-PAY74-PAY75-PAY76-PAY77-PAY78-PAY79-
        PAY710-PAY711-PAY712-PAY713-PAY714-PAY715-
        PAY716)/(PAYDA71+PAYDA72+PAYDA73+PAYDA74);
        PAY81=UY(I,J+1,K)*(LAMDAY+4*MUY)/((R(I)^2)*2*DTETA);

```

```

PAY82=-UY(I,J-1,K)*(LAMDAY+4*MUY)/((R(I)^2)*2*DTETA);
PAY83=UY(I+1,J+1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DR*DTETA);
PAY84=UY(I-1,J-1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DR*DTETA);
PAY85=-UY(I-1,J+1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DR*DTETA);
PAY86=-UY(I+1,J-1,K)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DR*DTETA);
PAY87=VY(I+1,J,K)*((MUY/(DR^2))+(MUY/(R(I)*2*DR)));
PAY88=VY(I-1,J,K)*((MUY/(DR^2))-(MUY/(R(I)*2*DR)));
PAY89=VY(I,J+1,K)*(LAMDAY+2*MUY)/((R(I)^2)*(DTETA^2));
PAY90=VY(I,J-1,K)*(LAMDAY+2*MUY)/((R(I)^2)*(DTETA^2));
PAY811=VY(I,J,K+1)*MUY/(DZ(J)^2);
PAY812=VY(I,J,K-1)*MUY/(DZ(J)^2);
PAY813=WY(I,J+1,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAY814=WY(I,J-1,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAY815=-WY(I,J+1,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAY816=-WY(I,J-1,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAYDA81=-2*MUY/(DR^2);
PAYDA82=-2*(LAMDAY+2*MUY)/((R(I)^2)*(DTETA^2));
PAYDA83=-2*MUY/(DZ(J)^2);
PAYDA84=-2*MUY/(R(I)^2);
VY(I,J,K)=(-PAY81-PAY82-PAY83-PAY84-PAY85-PAY86-PAY87-PAY88-PAY89-
PAY90-PAY811-PAY812-PAY813-PAY814-PAY815-
PAY816)/(PAYDA81+PAYDA82+PAYDA83+PAYDA84);
PAY91=UY(I,J,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*2*DZ(J));
PAY92=-UY(I,J,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*2*DZ(J));
PAY93=UY(I+1,J,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
PAY94=UY(I-1,J,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
PAY95=-UY(I+1,J,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
PAY96=-UY(I-1,J,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(4*DR*DZ(J));
PAY97=VY(I,J+1,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAY98=VY(I,J-1,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAY99=-VY(I,J+1,K-1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAY910=-VY(I,J-1,K+1)*(LAMDAY+MUY)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
PAY911=WY(I+1,J,K)*((MUY/(DR^2))+(MUY/(R(I)*2*DR)));
PAY912=WY(I-1,J,K)*((MUY/(DR^2))-(MUY/(R(I)*2*DR)));
PAY913=WY(I,J+1,K)*MUY/((R(I)^2)*(DTETA^2));
PAY914=WY(I,J-1,K)*MUY/((R(I)^2)*(DTETA^2));
PAY915=WY(I,J,K+1)*(LAMDAY+2*MUY)/(DZ(J)^2);
PAY916=WY(I,J,K-1)*(LAMDAY+2*MUY)/(DZ(J)^2);
PAYDA91=-2*MUY/(DR^2);
PAYDA92=-2*MUY/((R(I)^2)*(DTETA^2));
PAYDA93=-2*(LAMDAY+2*MUY)/(DZ(J)^2);
WY(I,J,K)=(-PAY91-PAY92-PAY93-PAY94-PAY95-PAY96-PAY97-PAY98-
PAY99-PAY910-PAY911-PAY912-PAY913-PAY914-PAY915-
PAY916)/(PAYDA91+PAYDA92+PAYDA93);
end;
end;
end;
for I=1:M;

```



```

for J=1:N;
  for K=1:S;
    UY(M+1,J,S)=UY(M,J,S)+(UY(M,J,S)-UY(M-1,J,S));
    UY(M+2,J,S)=UY(M,J,S)+2*(UY(M,J,S)-UY(M-1,J,S));
    VY(I,N+1,S)=VY(I,N,S)+(VY(I,N,S)-VY(I,N-1,S));
    VY(I,N+2,S)=VY(I,N,S)+2*(VY(I,N,S)-VY(I,N-1,S));
    WY(I,N+1,S)=WY(I,N,S)+(WY(I,N,S)-WY(I,N-1,S));
    WY(I,N+2,S)=WY(I,N,S)+2*(WY(I,N,S)-WY(I,N-1,S));
    WY(1,J,S+1)=WY(1,J,S)+(WY(1,J,S)-WY(1,J,S-1));
    WY(1,J,S+2)=WY(1,J,S)+2*(WY(1,J,S)-WY(1,J,S-1));
    VY(1,N+1,K)=VY(1,N,K)+(VY(1,N,K)-VY(1,N-1,K));
    VY(1,N+2,K)=VY(1,N,K)+2*(VY(1,N,K)-VY(1,N-1,K));
    UY(1,N+1,K)=UY(1,N,K)+(UY(1,N,K)-UY(1,N-1,K));
    UY(1,N+2,K)=UY(1,N,K)+2*(UY(1,N,K)-UY(1,N-1,K));
    UY(1,J,S+1)=UY(1,J,S)+(UY(1,J,S)-UY(1,J,S-1));
    UY(1,J,S+2)=UY(1,J,S)+2*(UY(1,J,S)-UY(1,J,S-1));
    WY(M,J,S+1)=WY(M,J,S)+(WY(M,J,S)-WY(M,J,S-1));
    WY(M,J,S+2)=WY(M,J,S)+2*(WY(M,J,S)-WY(M,J,S-1));
    VY(M,N+1,K)=VY(M,N,K)+(VY(M,N,K)-VY(M,N-1,K));
    VY(M,N+2,K)=VY(M,N,K)+2*(VY(M,N,K)-VY(M,N-1,K));
    UY(M,N+1,K)=UY(M,N,K)+(UY(M,N,K)-UY(M,N-1,K));
    UY(M,N+2,K)=UY(M,N,K)+2*(UY(M,N,K)-UY(M,N-1,K));
    UY(M,J,S+1)=UY(M,J,S)+(UY(M,J,S)-UY(M,J,S-1));
    UY(M,J,S+2)=UY(M,J,S)+2*(UY(M,J,S)-UY(M,J,S-1));
    UY(M+1,1,K)=UY(M,1,K)+(UY(M,1,K)-UY(M-1,1,K));
    UY(M+2,1,K)=UY(M,1,K)+2*(UY(M,1,K)-UY(M-1,1,K));
    WY(I,1,S+1)=WY(I,1,S)+(WY(I,1,S)-WY(I,1,S-1));
    WY(I,1,S+2)=WY(I,1,S)+2*(WY(I,1,S)-WY(I,1,S-1));
    VY(M+1,J,K)=VY(M,J,K)+(VY(M,J,K)-VY(M-1,J,K));
    VY(M+2,J,K)=VY(M,J,K)+2*(VY(M,J,K)-VY(M-1,J,K));
    VY(I,1,S+1)=VY(I,1,S)+(VY(I,1,S)-VY(I,1,S-1));
    VY(I,1,S+2)=VY(I,1,S)+2*(VY(I,1,S)-VY(I,1,S-1));
    UY(M+1,N,K)=UY(M,N,K)+(UY(M,N,K)-UY(M-1,N,K));
    UY(M+2,N,K)=UY(M,N,K)+2*(UY(M,N,K)-UY(M-1,N,K));
    WY(I,N,S+1)=WY(I,N,S)+(WY(I,N,S)-WY(I,N,S-1));
    WY(I,N,S+2)=WY(I,N,S)+2*(WY(I,N,S)-WY(I,N,S-1));
    VY(M+1,N,K)=VY(M,N,K)+(VY(M,N,K)-VY(M-1,N,K));
    VY(M+2,N,K)=VY(M,N,K)+2*(VY(M,N,K)-VY(M-1,N,K));
    VY(I,N,S+1)=VY(I,N,S)+(VY(I,N,S)-VY(I,N,S-1));
    VY(I,N,S+2)=VY(I,N,S)+2*(VY(I,N,S)-VY(I,N,S-1));
  end;
end;
end;
for I=1:M;
  for J=1:N;
    UY(I,J,1)=0;
    VY(I,J,1)=0;
    WY(I,J,1)=0;
  end;
end;

```

```

PAY11=((LAMDAY+2*MUY)/(2*DZ(J)))*(3*WY(I,J,S)-4*WY(I,J,S-1)+WY(I,J,S-
2));
    PAY12=(LAMDAY/(2*DR))*(-3*UY(I,J,S)+4*UY(I+1,J,S)-UY(I+2,J,S));
    PAY13=LAMDAY*UY(I,J,S)/R(I);
VY(I,J,S)=((-P(I,J)*DR*DTETA)-PAY11-PAY12-
PAY13)*2*DTETA*R(I)/LAMDAY-4*VY(I,J+1,S)+VY(I,J+2,S))/-3;
    PAY14=(3*VY(I,J,S)-4*VY(I,J,S-1)+VY(I,J,S-2))/(2*DZ(J));
    WY(I,J,S)=(-PAY14*R(I)*2*DTETA-4*WY(I,J+1,S)+WY(I,J+2,S))/-3;
PAY15=(-3*WY(I,J,S)+4*WY(I+1,J,S)-WY(I+2,J,S))/(2*DR);
    UY(I,J,S)=(-PAY15*2*DZ(J)+4*UY(I,J,S-1)-UY(I,J,S-2))/3;
    end;
end;
for J=1:N;
    for K=1:S;
        PAY21=((LAMDAY+2*MUY)/(2*DR))*(-UY(3,J,K)+4*UY(2,J,K)-
3*UY(1,J,K));
        PAY22=LAMDAY/(2*DZ(J))*(-WY(1,J,K+2)+4*WY(1,J,K+1)-3*WY(1,J,K));
        PAY23=LAMDAY*UY(1,J,K)/R(1);
VY(1,J,K)=((-PAY21-PAY22-PAY23)*2*DTETA*R(1)/LAMDAY+VY(1,J+2,K)-
4*VY(1,J+1,K))/-3;
        VY(1,J,1)=0;
        PAY24=-VY(1,J,K)/R(1);
        PAY25=(-VY(3,J,K)+4*VY(2,J,K)-3*VY(1,J,K))/(2*DR);
UY(1,J,K)=((-PAY24-PAY25)*R(1)*2*DTETA+UY(1,J+2,K)-4*UY(1,J+1,K))/-3;
        UY(1,J,1)=0;
        PAY26=(-UY(1,J,K+2)+4*UY(1,J,K+1)-3*UY(1,J,K))/(2*DZ(J));
        WY(1,J,K)=(-PAY26*2*DR+WY(3,J,K)-4*WY(2,J,K))/-3;
        WY(1,J,1)=0;
PAY31=((LAMDAY+2*MUY)/(2*DR))*(3*UY(M,J,K)-4*UY(M-1,J,K)+UY(M-
2,J,K));
        PAY32=LAMDAY*UY(M,J,K)/R(M);
        PAY33=LAMDAY/(2*DZ(J))*(-3*WY(M,J,K)+4*WY(M,J,K+1)-
WY(M,J,K+2));
VY(M,J,K)=((-PAY31-PAY32-PAY33)*2*DTETA*R(M)/LAMDAY-
4*VY(M,J+1,K)+VY(M,J+2,K))/-3;
        VY(M,J,1)=0;
PAY34=-VY(M,J,K)/R(M);
        PAY35=(-3*VY(M,J,K)-4*VY(M-1,J,K)+VY(M-2,J,K))/(2*DR);
UY(M,J,K)=((-PAY34-PAY35)*R(M)*2*DTETA-4*UY(M,J+1,K)+UY(M,J+2,K))/-3;
        UY(M,J,1)=0;
        PAY36=(-3*UY(M,J,K)+4*UY(M,J,K+1)-UY(M,J,K+2))/(2*DZ(J));
        WY(M,J,K)=(-PAY36*2*DR+4*WY(M-1,J,K)-WY(M-2,J,K))/3;
        WY(M,J,1)=0;
    end;
end;
for I=1:M;
    for K=1:S;
        PAY41=(-UY(I+2,1,K)+4*UY(I+1,1,K)-3*UY(I,1,K))/(2*DR);

```

```

PAY42=(-WY(I,1,K+2)+4*WY(I,1,K+1)-3*WY(I,1,K))/(2*DZ(1));
PAY43=(LAMDAY+2*MUY)*UY(I,1,K)/R(I);
VY(I,1,K)=((-LAMDAY*(PAY41+PAY42)-
PAY43)*R(I)*2*DTETA/(LAMDAY+2*MUY)+VY(I,3,K)-4*VY(I,2,K))/-3;
VY(I,1,1)=0;
PAY44=-VY(I,1,K)/R(I);
PAY45=(-VY(I+2,1,K)+4*VY(I+1,1,K)-3*VY(I,1,K))/(2*DR);
UY(I,1,K)=((-PAY44-PAY45)*R(I)*2*DTETA+UY(I,3,K)-4*UY(I,2,K))/-3;
UY(I,1,1)=0;
PAY46=(-VY(I,1,K+2)+4*VY(I,1,K+1)-3*VY(I,1,K))/(2*DZ(1));
WY(I,1,K)=(-PAY46*R(I)*2*DTETA+WY(I,3,K)-4*WY(I,2,K))/-3;
WY(I,1,1)=0;
PAY51=(-3*UY(I,N,K)+4*UY(I+1,N,K)-UY(I+2,N,K))/(2*DR);
PAY52=(-3*WY(I,N,K)+4*WY(I,N,K+1)-WY(I,N,K+2))/(2*DZ(N));
PAY53=(LAMDAY+2*MUY)*UY(I,N,K)/R(I);
VY(I,N,K)=((-LAMDAY*(PAY51+PAY52)-
PAY53)*R(I)*2*DTETA/(LAMDAY+2*MUY)+4*VY(I,N-1,K)-VY(I,N-2,K))/3;
VY(I,N,1)=0;
PAY54=-VY(I,N,K)/R(I);
PAY55=(-3*VY(I,N,K)+4*VY(I+1,N,K)-VY(I+2,N,K))/(2*DR);
UY(I,N,K)=((-PAY54-PAY55)*R(I)*2*DTETA+4*UY(I,N-1,K)-UY(I,N-2,K))/3;
UY(I,N,1)=0;
PAY56=(-3*VY(I,N,K)+4*VY(I,N,K+1)-VY(I,N,K+2))/(2*DZ(N));
WY(I,N,K)=(-PAY56*R(I)*2*DTETA+4*WY(I,N-1,K)-WY(I,N-2,K))/3;
WY(I,N,1)=0;
end;
end;
for I=1:M;
  for J=1:N;
    for K=1:S;
      if UY(I,J,K)<0;
        UY(I,J,K)=0;
      end;
      if VY(I,J,K)<0;
        VY(I,J,K)=0;
      end;
      if WY(I,J,K)<0;
        WY(I,J,K)=0;
      end;
    end;
  end;
end;
end;
for I=1:M;
  for J=1:N;
    for K=1:S;
      UY(I,J,K)=UYESKI(I,J,K)+WR*(UY(I,J,K)-UYESKI(I,J,K));
      VY(I,J,K)=VYESKI(I,J,K)+WR*(VY(I,J,K)-VYESKI(I,J,K));
      WY(I,J,K)=WYESKI(I,J,K)+WR*(WY(I,J,K)-WYESKI(I,J,K));
    end;
  end;
end;

```

```

    UY(I,J,1)=0;
    VY(I,J,1)=0;
    WY(I,J,1)=0;
    HATAUY=HATAUY+abs(UYESKI(I,J,K)-UY(I,J,K));
    HATAVY=HATAVY+abs(VYESKI(I,J,K)-VY(I,J,K));
    HATAWY=HATAWY+abs(WYESKI(I,J,K)-WY(I,J,K));
    TOPUY=TOPUY+abs(UY(I,J,K));
    TOPVY=TOPVY+abs(VY(I,J,K));
    TOPWY=TOPWY+abs(WY(I,J,K));
  end;
end;
end;
% HATA
% TOP
EPS=(HATAUY+HATAVY+HATAWY)/(TOPUY+TOPVY+TOPWY)
if EPS<SEPS;
  break;
end;
end;
for I=1:M;
  for J=1:N;
    H(I,J)=H(I,J)+WY(I,J,20)/DELTA;
  end;
end;
R2=60;
L=LR2*R2;
R1=R2-L;
DELTA=H2/H2DELTA;
M=20;
N=20;
S=20;
T=20;
RMIL=30;
AMIL=pi*(RMIL^2);
DR=L/M;
ES=90000;
NUS=0.33;
LAMDAS=NUS*ES/((1+NUS)*(1-2*NUS));
MUS=ES/(2*(1+NUS));
SEPS=0.0001;
WR=0.01;
XTP=0;
GTP=0;
for J=1:N;
  XTOP=0;
  L=1;
  while L<=M-2
    L=L+2;

```

```

    TER1=4*P(J,L);
    TER2=2*P(J,L+1);
    XTOP=XTOP+TER1+TER2;
end;
XTP=XTOP+P(J,1)+P(J,M);
XINT(J)=DR*XTP/3;
end;
GTOP=0;
I=1;
while I<=N-2
    I=I+2;
    TER1=4*XINT(I);
    TER2=2*XINT(I+1);
    GTOP=GTOP+TER1+TER2;
end;
GTP=GTOP+XINT(1)+XINT(N);
PINTEG=DTETA*GTP/3
SB=PINTEG/AMIL;
for J=1:N;
    DZ(J)=T/S;
end;
for I=1:M+2;
    for J=1:N+2;
        for K=1:S+2;
            US(I,J,K)=0.00001;
            VS(I,J,K)=0.00001;
            WS(I,J,K)=0.00001;
        end;
    end;
end;
for ITER=1:4
    ITER
    HATAUS=0;
    HATAVS=0;
    HATAWS=0;
    TOPUS=0;
    TOPVS=0;
    TOPWS=0;
    for I=1:M+2;
        for J=1:N+2;
            for K=1:S+2;
                USESKI(I,J,K)=US(I,J,K);
                VSESKI(I,J,K)=VS(I,J,K);
                WSESKI(I,J,K)=WS(I,J,K);
            end;
        end;
    end;
    for K=2:S-1;

```

```

for I=2:M-1;
  for J=2:N-1;
PAYS71=US(I+1,J,K)*(((LAMDAY+2*MUS)/(DR^2))+((LAMDAS+2*MUS)/(R(I)*
2*DR)));
PAYS72=US(I-1,J,K)*(((LAMDAS+2*MUS)/(DR^2))-
((LAMDAS+2*MUS)/(R(I)*2*DR)));
  PAYS73=US(I,J+1,K)*MUS/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYS74=US(I,J-1,K)*MUS/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYS75=US(I,J,K+1)*MUS/(DZ(J)^2);
  PAYS76=US(I,J,K-1)*MUS/(DZ(J)^2);
  PAYS77=-VS(I,J+1,K)*3*MUS/((R(I)^2)*2*DTETA);
  PAYS78=VS(I,J-1,K)*3*MUS/((R(I)^2)*2*DTETA);
  PAYS79=VS(I+1,J+1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS710=VS(I-1,J-1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS711=-VS(I-1,J+1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS712=-VS(I+1,J-1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS713=WS(I+1,J,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYS714=WS(I-1,J,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYS715=-WS(I-1,J,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYS716=-WS(I+1,J,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYDAS71=-2*(LAMDAS+2*MUS)/(DR^2);
  PAYDAS72=-2*MUS/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYDAS73=-2*MUS/(DZ(J)^2);
  PAYDAS74=-2*MUS/(R(I)^2);
US(I,J,K)=(-PAYS71-PAYS72-PAYS73-PAYS74-PAYS75-PAYS76-PAYS77-
PAYS78-PAYS79-PAYS710-PAYS711-PAYS712-PAYS713-PAYS714-PAYS715-
PAYS716)/(PAYDAS71+PAYDAS72+PAYDAS73+PAYDAS74);
  PAYS81=US(I,J+1,K)*(LAMDAS+4*MUS)/((R(I)^2)*2*DTETA);
  PAYS82=-US(I,J-1,K)*(LAMDAS+4*MUS)/((R(I)^2)*2*DTETA);
  PAYS83=US(I+1,J+1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS84=US(I-1,J-1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS85=-US(I-1,J+1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS86=-US(I+1,J-1,K)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DR*DTETA);
  PAYS87=VS(I+1,J,K)*((MUS/(DR^2))+((MUS/(R(I)*2*DR)));
  PAYS88=VS(I-1,J,K)*((MUS/(DR^2))-((MUS/(R(I)*2*DR)));
  PAYS89=VS(I,J+1,K)*(LAMDAS+2*MUS)/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYS810=VS(I,J-1,K)*(LAMDAS+2*MUS)/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYS811=VS(I,J,K+1)*MUS/(DZ(J)^2);
  PAYS812=VS(I,J,K-1)*MUS/(DZ(J)^2);
  PAYS813=WS(I,J+1,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYS814=WS(I,J-1,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYS815=-WS(I,J+1,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYS816=-WS(I,J-1,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYDAS81=-2*MUS/(DR^2);
  PAYDAS82=-2*(LAMDAS+2*MUS)/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYDAS83=-2*MUS/(DZ(J)^2);
  PAYDAS84=-2*MUS/(R(I)^2);

```

```

VS(I,J,K)=(-PAYS81-PAYS82-PAYS83-PAYS84-PAYS85-PAYS86-PAYS87-
PAYS88-PAYS89-PAYS810-PAYS811-PAYS812-PAYS813-PAYS814-PAYS815-
PAYS816)/(PAYDAS81+PAYDAS82+PAYDAS83+PAYDAS84);
  PAYS91=US(I,J,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*2*DZ(J));
  PAYS92=-US(I,J,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*2*DZ(J));
  PAYS93=US(I+1,J,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYS94=US(I-1,J,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYS95=-US(I+1,J,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYS96=-US(I-1,J,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(4*DR*DZ(J));
  PAYS97=VS(I,J+1,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYS98=VS(I,J-1,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYS99=-VS(I,J+1,K-1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYS910=-VS(I,J-1,K+1)*(LAMDAS+MUS)/(R(I)*4*DTETA*DZ(J));
  PAYS911=WS(I+1,J,K)*((MUS/(DR^2))+MUS/(R(I)*2*DR));
  PAYS912=WS(I-1,J,K)*((MUS/(DR^2))-(MUS/(R(I)*2*DR)));
  PAYS913=WS(I,J+1,K)*MUS/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYS914=WS(I,J-1,K)*MUS/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYS915=WS(I,J,K+1)*(LAMDAS+2*MUS)/(DZ(J)^2);
  PAYS916=WS(I,J,K-1)*(LAMDAS+2*MUS)/(DZ(J)^2);
  PAYDAS91=-2*MUS/(DR^2);
  PAYDAS92=-2*MUS/((R(I)^2)*(DTETA^2));
  PAYDAS93=-2*(LAMDAS+2*MUS)/(DZ(J)^2);
WS(I,J,K)=(-PAYS91-PAYS92-PAYS93-PAYS94-PAYS95-PAYS96-PAYS97-
PAYS98-PAYS99-PAYS910-PAYS911-PAYS912-PAYS913-PAYS914-PAYS915-
PAYS916)/(PAYDAS91+PAYDAS92+PAYDAS93);
  end;
end;
end;
for I=1:M;
  for J=1:N;
    for K=1:S;
      US(M+1,J,S)=US(M,J,S)+(US(M,J,S)-US(M-1,J,S));
      US(M+2,J,S)=US(M,J,S)+2*(US(M,J,S)-US(M-1,J,S));
      VS(I,N+1,S)=VS(I,N,S)+(VS(I,N,S)-VS(I,N-1,S));
      VS(I,N+2,S)=VS(I,N,S)+2*(VS(I,N,S)-VS(I,N-1,S));
      WS(I,N+1,S)=WS(I,N,S)+(WS(I,N,S)-WS(I,N-1,S));
      WS(I,N+2,S)=WS(I,N,S)+2*(WS(I,N,S)-WS(I,N-1,S));
      WS(1,J,S+1)=WS(1,J,S)+(WS(1,J,S)-WS(1,J,S-1));
      WS(1,J,S+2)=WS(1,J,S)+2*(WS(1,J,S)-WS(1,J,S-1));
      VS(1,N+1,K)=VS(1,N,K)+(VS(1,N,K)-VS(1,N-1,K));
      VS(1,N+2,K)=VS(1,N,K)+2*(VS(1,N,K)-VS(1,N-1,K));
      US(1,N+1,K)=US(1,N,K)+(US(1,N,K)-US(1,N-1,K));
      US(1,N+2,K)=US(1,N,K)+2*(US(1,N,K)-US(1,N-1,K));
      US(1,J,S+1)=US(1,J,S)+(US(1,J,S)-US(1,J,S-1));
      US(1,J,S+2)=US(1,J,S)+2*(US(1,J,S)-US(1,J,S-1));
      WS(M,J,S+1)=WS(M,J,S)+(WS(M,J,S)-WS(M,J,S-1));
      WS(M,J,S+2)=WS(M,J,S)+2*(WS(M,J,S)-WS(M,J,S-1));
      VS(M,N+1,K)=VS(M,N,K)+(VS(M,N,K)-VS(M,N-1,K));
    end;
  end;
end;

```

```

VS(M,N+2,K)=VS(M,N,K)+2*(VS(M,N,K)-VS(M,N-1,K));
US(M,N+1,K)=US(M,N,K)+(US(M,N,K)-US(M,N-1,K));
US(M,N+2,K)=US(M,N,K)+2*(US(M,N,K)-US(M,N-1,K));
US(M,J,S+1)=US(M,J,S)+(US(M,J,S)-US(M,J,S-1));
US(M,J,S+2)=US(M,J,S)+2*(US(M,J,S)-US(M,J,S-1));
US(M+1,1,K)=US(M,1,K)+(US(M,1,K)-US(M-1,1,K));
US(M+2,1,K)=US(M,1,K)+2*(US(M,1,K)-US(M-1,1,K));
WS(I,1,S+1)=WS(I,1,S)+(WS(I,1,S)-WS(I,1,S-1));
WS(I,1,S+2)=WS(I,1,S)+2*(WS(I,1,S)-WS(I,1,S-1));
VS(M+1,J,K)=VS(M,J,K)+(VS(M,J,K)-VS(M-1,J,K));
VS(M+2,J,K)=VS(M,J,K)+2*(VS(M,J,K)-VS(M-1,J,K));
VS(I,1,S+1)=VS(I,1,S)+(VS(I,1,S)-VS(I,1,S-1));
VS(I,1,S+2)=VS(I,1,S)+2*(VS(I,1,S)-VS(I,1,S-1));
US(M+1,N,K)=US(M,N,K)+(US(M,N,K)-US(M-1,N,K));
US(M+2,N,K)=US(M,N,K)+2*(US(M,N,K)-US(M-1,N,K));
WS(I,N,S+1)=WS(I,N,S)+(WS(I,N,S)-WS(I,N,S-1));
WS(I,N,S+2)=WS(I,N,S)+2*(WS(I,N,S)-WS(I,N,S-1));
VS(M+1,N,K)=VS(M,N,K)+(VS(M,N,K)-VS(M-1,N,K));
VS(M+2,N,K)=VS(M,N,K)+2*(VS(M,N,K)-VS(M-1,N,K));
VS(I,N,S+1)=VS(I,N,S)+(VS(I,N,S)-VS(I,N,S-1));
VS(I,N,S+2)=VS(I,N,S)+2*(VS(I,N,S)-VS(I,N,S-1));

end;
end;
end;
for I=1:M;
  for J=1:N;
    US(I,J,1)=0;
    VS(I,J,1)=0;
    WS(I,J,1)=0;
    PAYS11=((LAMDAS+2*MUS)/(2*DZ(J)))*(3*WS(I,J,S)-4*WS(I,J,S-1)+WS(I,J,S-2));
    PAYS12=(LAMDAS/(2*DR))*(-3*US(I,J,S)+4*US(I+1,J,S)-US(I+2,J,S));
    PAYS13=LAMDAS*US(I,J,S)/R(I);
    VS(I,J,S)=((-P(I,J)*DR*DTETA)-PAYS11-PAYS12-PAYS13)*2*DTETA*R(I)/LAMDAS-4*VS(I,J+1,S)+VS(I,J+2,S))/-3;
    PAYS14=(3*VS(I,J,S)-4*VS(I,J,S-1)+VS(I,J,S-2))/(2*DZ(J));
    WS(I,J,S)=(-PAYS14*R(I)*2*DTETA-4*WS(I,J+1,S)+WS(I,J+2,S))/-3;
    PAYS15=(-3*WS(I,J,S)+4*WS(I+1,J,S)-WS(I+2,J,S))/(2*DR);
    US(I,J,S)=(-PAYS15*2*DZ(J)+4*US(I,J,S-1)-US(I,J,S-2))/3;
  end;
end;
for J=1:N;
  for K=1:S;
    PAYS31=((LAMDAS+2*MUS)/(2*DR))*(3*US(M,J,K)-4*US(M-1,J,K)+US(M-2,J,K));
    PAYS32=LAMDAS*US(M,J,K)/R(M);
  end;
end;

```



```

    PAYS33=LAMDAS/(2*DZ(J))*(-3*WS(M,J,K)+4*WS(M,J,K+1)-
    WS(M,J,K+2));
    VS(M,J,K)=((-PAYS31-PAYS32-PAYS33)*2*DTETA*R(M)/LAMDAS-
    4*VS(M,J+1,K)+VS(M,J+2,K))/-3;
    VS(M,J,1)=0;
    PAYS34=-VS(M,J,K)/R(M);
    PAYS35=(-3*VS(M,J,K)-4*VS(M-1,J,K)+VS(M-2,J,K))/(2*DR);
    US(M,J,K)=((-PAYS34-PAYS35)*R(M)*2*DTETA-4*US(M,J+1,K)+US(M,J+2,K))/-
    3;
    US(M,J,1)=0;
    PAYS36=(-3*US(M,J,K)+4*US(M,J,K+1)-US(M,J,K+2))/(2*DZ(J));
    WS(M,J,K)=(-PAYS36*2*DR+4*WS(M-1,J,K)-WS(M-2,J,K))/3;
    WS(M,J,1)=0;
end;
end;
for I=1:M;
    for J=1:N;
        for K=1:S;
            if US(I,J,K)<0;
                US(I,J,K)=0;
            end;
            if VS(I,J,K)<0;
                VS(I,J,K)=0;
            end;
            if WS(I,J,K)<0;
                WS(I,J,K)=0;
            end;
end;
end;
end;
for I=1:M;
    for J=1:N;
        for K=1:S;
            US(I,J,K)=USESKI(I,J,K)+WR*(US(I,J,K)-USESKI(I,J,K));
            VS(I,J,K)=VSESKI(I,J,K)+WR*(VS(I,J,K)-VSESKI(I,J,K));
            WS(I,J,K)=WSESKI(I,J,K)+WR*(WS(I,J,K)-WSESKI(I,J,K));
            US(I,J,1)=0;
            VS(I,J,1)=0;
            WS(I,J,1)=0;
            HATAUS=HATAUS+abs(USESKI(I,J,K)-US(I,J,K));
            HATAVS=HATAVS+abs(VSESKI(I,J,K)-VS(I,J,K));
            HATAWS=HATAWS+abs(WSESKI(I,J,K)-WS(I,J,K));
            TOPUS=TOPUS+abs(US(I,J,K));
            TOPVS=TOPVS+abs(VS(I,J,K));
            TOPWS=TOPWS+abs(WS(I,J,K));
        end;
    end;
end;
end;

```

```

% HATA
% TOP
EPS=(HATAUS+HATAVS+HATAWS)/(TOPUS+TOPVS+TOPWS)
if EPS<SEPS;
    break;
end;
end;
for I=1:M;
    for J=1:N;
        H(I,J)=H(I,J)+WY(I,J,20)/DELTA+WS(I,J,20);
    end;
end;
figure
CIZ=size(H);
surf(1:1:CIZ(2),1:1:CIZ(1),H);
axis([1 CIZ(2) 1 CIZ(1) 0 max(max(H))]);
xlabel('B LOKMA UZUNLUGU');
ylabel('L LOKMA GENISLIGI');
zlabel('h YAG FILMI KALINLIGI');
colorbar('vert');
for I=1:M;
    for J=1:N;
        P(I,J)=P(I,J)/BOYUT_KAT;
        P(I,J)=0;
    end;
end;
for I=1:M;
    R(I)=R(I)/R2;
end;
DR=LR2/M;
DTETA=BETA/N;
WR=1.7;
SEPS=0.01;
ITMAX=1000;
for ITER=1:ITMAX;
    TOP=0;
    HATA=0;
    for I=2:M-1;
        for J=2:N-1;
            PESKI=P(I,J);
            PAYS1=12*pi*R(I)*((1/LR2)^2)*(H(I,J-1)-H(I,J+1))/DTETA;
            PAYS2=P(I+1,J)*(H(I,J)^3)*R(I+1)/(DR^2);
            PAYS3=P(I-1,J)*(H(I,J)^3)*R(I-1)/(DR^2);
            PAYS4=P(I,J+1)*(H(I,J+1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));
            PAYS5=P(I,J-1)*(H(I,J-1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));
            PAYDAS1=(H(I,J)^3)*R(I+1)/(DR^2);
            PAYDAS2=(H(I,J)^3)*R(I-1)/(DR^2);
            PAYDAS3=(H(I,J+1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));

```

```

PAYDAS4=(H(I,J-1)^3)/(R(I)*(DTETA^2));
P(I,J)=(PAYS1+PAYS2+PAYS3+PAYS4+PAYS5)/(PAYDAS1+PAYDAS2+PAYDAS3+PAYDAS4);
P(I,J)=PESKI+WR*(P(I,J)-PESKI);
if P(I,J)<0;
    P(I,J)=0;
end;
HATA=HATA+abs(PESKI-P(I,J));
TOP=TOP+abs(P(I,J));
end;
end;
EPS=HATA/TOP;
if EPS<SEPS;
    break;
end;
end;
figure
CIZ=size(P);
surf(1:1:CIZ(2),1:1:CIZ(1),P);
axis([1 CIZ(2) 1 CIZ(1) 0 max(max(P))]);
xlabel('B LOKMA UZUNLUGU');
ylabel('L LOKMA GENISLIGI');
zlabel('P YATAK BASINCI');
colorbar('vert');
% max(max(P))
%YATAGIN KALDIRMA KUVVETININ HESABI
XTP=0;
GTP=0;
for J=1:N;
    XTOP=0;
    L=1;
    while L<=M-2
        L=L+2;
        TER1=4*P(J,L);
        TER2=2*P(J,L+1);
        XTOP=XTOP+TER1+TER2;
    end;
    XTP=XTP+P(J,1)+P(J,M);
    XINT(J)=DR*XTP/3;
end;
GTOP=0;
I=1;
while I<=N-2
    I=I+2;
    TER1=4*XINT(I);
    TER2=2*XINT(I+1);
    GTOP=GTOP+TER1+TER2;
end;
end;

```

```
GTP=GTOP+XINT(1)+XINT(N);
PINTEG=DTETA*GTP/3
for I=1:M
    for J=1:N
        WC(I,J)=-WY(I,J,S)/DELTA-WS(I,J,S);
    end;
end;
figure
CIZ=size(WC);
surf(1:1:CIZ(2),1:1:CIZ(1),WC);
axis([1 CIZ(2) 1 CIZ(1) min(min(WC)) 0]);
xlabel('B LOKMA UZUNLUGU');
ylabel('L LOKMA GENISLIGI');
zlabel('W YATAK DEFORMASYONU');
colorbar('vert');
```

TEŞEKKÜR

Çalışma esnasında çalışmayı yönetip yönlendiren, rehberlik eden Sayın Prof. Dr. Emin Güllü'ye, ilgili konularda yardımını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Osman Kopmaz'a ve Sayın Yard. Doç. Dr. Ali Ercengiz'e teőekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

30.01.1981'de İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Yalova'da tamamladıktan sonra 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandı. 2003 yılında bu programdan mezun oldu ve 2004 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek öğrenime başladı.