
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

FEDER PARAMETRELERİNİN PLASTİK PARÇA MUKAVEMETİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Farnoud KHAKZAD

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2017

Farnoud KHAKZAD tarafından hazırlanan "FEDER PARAMETRELERİNİN PLASTİK PARÇA MUKAVEMETİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Başkan: Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Üye: Yrd. Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……

Tez Savunma Tarihi: 30.01.2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Farnoud KHAKZAD
30.01.2017

FEDER PARAMETLERLERİNİN PLASTİK PARÇA MUKAVEMETİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Farnoud KHAKZAD

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2017

ÖZET

Federler plastik parçalarda parçanın fonksiyonel bölgelerini ve görünümünü çok etkilemeden mukavemetini artırmak için yapılan yapısal omurgalardır. Feder yapıları vasıtasıyla plastik parçanın kalınlığını artırmadan parçanın mukavemetini artırmak mümkündür. Plasitk parçalar kullanım yerlerinde oluşan gerilmeler sonucu deformasyona uğrayabilirler. Feder yapıları bu deformasyonlerın en aza indirilmesini sağlayabilmektedir. Plastik parçanın et kalınlığının artırılması sonucu parçada çökmeler ve çarpılmalar oluşmaktadır. Feder yapıları ile plastik parçaların et kalınlığının artırılmasına ihtiyaç duyulmayacağı için çökme ve çarpılmalar en aza inmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada federlerin plastik parçanın mekavemetine ve deformasyonuna etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, feder parametresi olarak feder kalınlığı, feder yüksekliği, federin açısı ve federlerin dip kısmındaki yarıçapı olmak üzere dört farklı parametre belirlenmiştir. Plastik parçanın mekanik özeliklerini analiz edebilmek 5 farklı yükseklik, 5 farklı kalınlık, 5 farklı yarıçap ve 3 farklı feder açısı belirlenerek tasarım yapılmıştır. Tasarlanan plastik parçanın mukavemetini belirlemek için Ansys programında mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Plastik parça malzemesi olarak akma mukavemeti 35 MPa olan polipropilenin (PP) seçildiği tasarımda 345 farklı alternatif ele alınarak mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde plastik parçaya dört farklı yönden kuvvet uygulanarak feder parametrelerinin plastik parça mukavemetine ve derformasyona etkileri belirlenmiştir.Feder yüksekliğile kalınlığının artması deformasyon miktarını azaltmaktadır. Ancak yarıçapın artması deformasyonun düşüşünde çok az etkiye sahiptir. Feder açısı ise özelikle feder yüksekliğinin arttığı tasarımlarda deformasyon oranının artmasına sebep olduğu belirlenmiştir. Maksimum gerilme ankastre yüzeyine yakın bölgede ve A yüzeyinden uygulanan basınçta bazı parametrelerde feder diplerinde olduğu belirlenmiştir. Bazı tasarımlarda gerilme değerinin akma dayanımının üstünede olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde Genel olarak feder parametreleri ile gerilme arasında ise anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Ancak, basıncın uygulandığı yüzeye bağlı olarak gerilme dağılımının değiştiği feder yüksekliği ve feder kalınlığının gerilmeyi azalttığı, en etkin parametrenin feder yüksekliği ve feder kalınlıkları olduğu tespit edilmiştir. Plastik parçada oluşan deformasyon oranı dikkate alındığında feder yüksekliğinin plastik parçanin et kalınlığının yaklaşık 3-4 kat civarına seçilmesi önerilmektedir.

Bilim Kodu : 91433
Anahtar Kelimeler : Plastik parça tasarımı, Feder, Deformasyon, Gerilme
Sayfa Adedi : 195
Danışman : Doç. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

A RESEARCH ON THE EFFECTS OF RIB PARAMETERS ON PLASTIC PART STRENGTH

(M.Sc. Thesis)

Farnoud KHAKZAD

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2017

ABSTRACT

Ribs are structural vertebras made to increase the strength of the plastic parts without affecting much of their functional areas and appearance. By means of rib structure, it is possible to increase the strength of the plastic part without increasing its thickness. Plastic parts can become deformed due to tensions occur at the places of use. Rib structures can ensure these deformations to be minimized. Collapses and distortions arise as a result of increase in the wall thickness of plastic part. Collapses and distortions are minimized due to the fact that it is not needed to increase the wall thickness of plastic parts owing to rib structures. In this study, the effects of the ribs on the strength and deformation of the plastic parts are examined. In this context, four different parameters have been defined as rib parameters which are rib thickness, rib height, rib angle and radius at the bottom of the ribs. It is designed by determining 5 different heights, 5 different thicknesses, 5 different radii and 3 different rib angles to analyze mechanical properties of the plastic part. Mechanical analyzes were made in Ansys program in order to determine the strength of designed plastic part. Mechanical analyzes were made by handling 345 different alternatives in a design in which a polypropylene (PP) with a yield strength of 35 MPa was chosen as a plastic part material. In the analysis, the effects of the rib parameters to plastic part strength and deformation are determined by applying forces to plastic part from four different sides. Increase in the rib height and thickness reduces the amount of deformation. However, the increase in radius has little effect on the decrease in deformation. Rib angle has been determined to cause the deformation rate to increase, especially in designs where rib height increased. It has been determined that the maximum tension is in the region close to the built-in surface and in the pressure applied from the A side that some parameters are at the bottom of the rib. In some designs it has been determined that the tensile strength is above the yield strength. In the analyses, there was no significant relationship between rib parameters and tension in general. However, it has been determined that tension distribution varies depending on which surface the pressure is applied, the rib height and rib thickness reduce tension, and the most effective parameters are the rib height and rib thickness. Considering the deformation rate of the plastic part, it is suggested that the rib height should be determined as 3-4 times of the thickness of plastic part.

Science Code : 91433
Key Words : Design of plastik part, Rib, Deformation, Stress
Page Number : 195
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok kıymetli Atama ve Anama, büyük emeği geçen Tez Danışmanım Doç. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ'a, parametrik tasarım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Ömer BAYRAKTAR'a ve türkçe yazmasında yardım eden Ataollah KHANLARİ'le Ümit AĞBULUT ve ayrıca her türlü destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşlarıma, İman REZAZADEH, Farhad HANİFEHPOUR ve Zahra RAHİMİ'den teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xix

1. GİRİŞ 1

2. PLASTİK PARÇA TASARIMI VE TASARIM KRİTERLERİ 3

2.1. Tasarım ilkeleri 3

2.2. Tasarım Parametreleri 4

2.3. Üretim Sürecinde Yaygın Kusurlar 5

2.3.1. Boşluklar ve kasılma 5

2.3.2. Eğilme 6

2.3.3. Gerilme konsantrasyonu 7

2.4. Plastik Parçada Federin Tanıtımı Önemi ve Genel Görümü 7

2.5. Feder Tasarımında Önemli Parametreler 9

2.5.1. Federin yüksekliği 9

2.5.2. Feder kalınlığı 10

2.5.3. Feder açısı 11

2.5.4. Federin yarıçapı 11

2.5.5. Feder arasındaki mesafe 12

2.6. Yapının Sertliği Üzerinde Feder/Güç Etkisi 12

2.7. Federlerin Kesişme Noktası 13

Sayfa

2.8. Üretim Sürecinde Polimerler ve İşlevsel Maddeler 14

2.8.1. Polimerlerin sınıflandırılması 14

2.9. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi 15

2.10. CAE, CAD ve Modelleme Sürecinin Tasarımı 16

2.10.1. Sonlu elemanlara giriş 16

2.10.2. Yazılımda modeleme aşamalarının açıklaması 18

2.11. Madde Seçimi ve Özelliği 19

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMA KONUSUNDA GEÇMİŞİNİN DEĞERLİNDİRMESİ 21

3.1. Taguchi Yöntemi ile Üretim ve Tasarım Sürecinin Genel Parametrelerinin Optimizasyonu 21

3.2. (CAE) Bilgisayar Yöntemi ve Diğer Sayısal Yöntemler ile Mühendislik 22

3.3. Malzeme Dayanıklılığı ve Direnci ile Eğilme Karşısında Dayanıklılık OranıArasındaki İlişki 23

3.4. Parça Üzerinde Feder Konumunun Belli Edilmesi 24

3.5. Federin Mekansal Konumunun Tespiti 25

3.6. Mekanik Yapılarda federin farklı Parametrelerinin Etkisi 28

3.7. Federin Parça Dayanıklılığını Artırmada Etkisi 29

3.8. Federlerin Yapısının Optimizasyonu İçin Önceki Çalışmalar 32

4. MATERYAL METOD 39

4.1. Plastik Parça Modeli 39

4.2. Plastik Malzeme 40

4.3. Ansys Yazılımında Kullanılan Parametreler 41

4.3.1. Ansys parametreleri ve tanımlamalar 41

4.4. Federsiz Parçada Dört Farklı Yönden Uygulanan Basınçların Oluşturduğu Deformasyon Miktarları 46

4.5. Federsiz Parçada Dört Farklı Yönden Uygulanan Basınçların Oluşturduğu Gerilme Değerleri 47

Sayfa

5. BULGULAR VE TARTIŞMA 51

5.1. Basınca Bağlı Olarak Gerçekleşen Deormasyon Miktarları 52

5.1.1. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 52

5.1.2. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 60

5.1.3. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 61

5.1.4. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 61

5.1.5. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 67

5.1.6. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 68

5.1.7. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 69

5.1.8. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 76

5.1.9. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 76

5.1.10. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 77

5.1.11. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 85

5.1.12. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 85

5.2. Basınca Bağlı Olarak Gerçekleşen Gerilme Miktarları 88

5.2.1. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 99

5.2.2. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 89

5.2.3. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 99

Sayfa

5.2.4. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 100

5.2.5. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 108

5.2.6. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 109

5.2.7. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 110

5.2.8. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 117

5.2.9. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 117

5.2.10. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır) 118

5.2.11. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır) 127

5.2.12. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır) 127

5.3. Feder Parametrelerine Bağlı Akma Dayanımını Geçen Gerilme Oranı 129

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 133

KAYNAKLAR 135

EKLER 139

Ek- 1. Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler 140

Ek- 2. A Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi 156

Ek- 3. B Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi 159

Ek- 4. C Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi 162

Ek- 5. D Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi 165

Ek- 6. A Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi 168

Ek- 7. B Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi 171

Ek- 8. C Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi 174

Sayfa

Ek- 9. D Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi 177

Ek- 10. Taguchi diagramları 180

Ek- 11. Elde edilen deneylerin sonuçlari 188

ÖZGEÇMİŞ 195

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Feder sayısının parçanın eğilme üzerinde etkisi 26

Çizelge 4.1. Plastik parçayla federlerin sabit geometresi 40

Çizelge 4.2. Alternatif olarak kullanılan feder parametreleri 40

Çizelge 4.3. Polipropilenin özelikleri 41

Çizelge 4.4. Ansys yazılımında ömalzeme tanımlamasında kullanılan giriş parametreleri 41

Çizelge 4.5. Federsiz plastik parçada 35 MPa lık gerilmeye karşılık gelen deformasyon değerleri 46

Çizelge 4.6. Federsiz plastik parçada 35 MPa lık gerilmeye karşılık gelen basınç değerleri 47

Çizelge 5.1. Federli plastik parçada tespit edilen en büyük ve en küçük deformasyon miktarları 86

Çizelge 5.2. Federli plastik parçada tespit edilen en büyük ve en küçük gerilme miktarları 128

Çizelge 5.3. Yüksekliğe bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı 130

Çizelge 5.4. Yarıçapa bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı 131

Çizelge 5.5. Kalınlığa bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı 132

Çizelge 5.6. Açıya bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı 132

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Özdeş et kalınlıklarının çökme ve çarpılmaya etkileri 5

Şekil 2.2. Dayanıklığı artırmak üzere köşede boşluk oluşumu..... 6

Şekil 2.3.Yapıda bölgesel eğilme ve bozulma etkilerin azalması için uygun feder tasarımı..... 6

Şekil 2.4. Gerilme konstrasyon grafiği 7

Şekil 2.5. Yarıçapın keskin köşede etkisi 7

Şekil 2.6. Plastik parçada feder numuneleri..... 8

Şekil 2.7. Federlerin geometri optimizasyonu 9

Şekil 2.8. Federin yüksekliği 10

Şekil 2.9. Federin kalınlığı..... 10

Şekil 2.10. İnce ve kalın federde burkulma 11

Şekil 2.11. Federin açısı..... 11

Şekil 2.12. Feder yarıçap çok olduğunda çökme meydana gelmektedir..... 12

Şekil 2.13. Kalıbı soğutmak için federler arasında yeterli boşluk 12

Şekil 2.14. Konsantre yük karşı farklı feder oryantasyonu..... 13

Şekil 2.15. Feder kesişme noktasında merkezi çekirdek. 13

Şekil 2.16. Feder tasarımında uygulamalı ipuçların özet diyagramı 14

Şekil 2.17. Monomerlerden yapılmış bir polimer zinciri..... 14

Şekil 2.18. Plastik enjeksiyon sürecinin genel şeması..... 16

Şekil 2.19. Sonlu eleman yazılımında parçanın melşlenmeden önce ve meşlenmeden sonra oluşulan eleman ve düğme..... 17

Şekil 2.20. Sonlu eleman yazılımında parçanın analiz aşaması..... 19

Şekil 2.21. Sonlu elemanyazılımında uygulanan koşullarda elde edilen sonuçlar 19

Şekil 2.22. Parçanın farklı kısımlarının meşlenmesi ve elemanların oluşumu 19

Şekil 2.23. Polipropilen hazırlama reaksiyonu 19

Şekil 2.24. İzotropik polipropilenin şematik şekli..... 20

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Ürünün üzerindeki basınç dağılımı 23

Şekil 3.2. a) 4 mm Parça modelleme .b) Feder'lerin parçada 4 aşamada optimize prosesinde konumuları 26

Şekil 3.3. Kanata uygulanan brazier yükü 27

Şekil 3.4. Yenilemeden önce feder'n şematik şekli 27

Şekil 3.5. a) Havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kompozit kanatlı feder'lerin şematik şekli, b) Kanatin sonlu elemanda yazılımında meshlenmiş şekli 27

Şekil 3.6. Sonlu eleman yazılımında parçanın meshlenmiş biçimi 28

Şekil 3.7. Gaz enjeksiyon sürecinde filletli veya filetsiz feder'lerin yerleşim şeklinin diyagramı 29

Şekil 3.8. Federin kullanmanın optimizasyon süreci için seçilmiş federt geometrilerden yan görünüş ve kesim şekli 29

Şekil 3.9. Petek şeklinde feder'lerin tasarımıda önemli olan parametreler 30

Şekil 3.10. ChubuSat uydusu 30

Şekil 3.11. a) Balpeteği şeklindeki feder yapısı, b) Üçgen ızgara (grid) şeklindeki ferder yapısı 31

Şekil 3.12. Dayanımı artamasıyla uydunun ferekans özelliğini düşüren federin yapısı 31

Şekil 3.13. a) Eşkenar dörtgen sonlu eleman yazılımında meshlenmiş, b) uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme 31

Şekil 3.14. Araştırma sürecinin genel şeması 32

Şekil 3.15. a) Otodesk yazılımında parçanın geometri, b) sonlu elemanlar modeli 33

Şekil 3.16. Parçanın çökme derinliği 33

Şekil 3.17. Levhada optimizeden önce yerleştirilen federler 34

Şekil 3.18. Levha ve ilgili feder'lerin optimize özellikleri 34

Şekil 3.19. Kritik bölgede kullanılan feder 35

Şekil 3.20. a) Koniğin sonlu elemanda modellenmesi, b)Dış kabukta yerel burkulma, c). Parçanın tumünde burkulma 36

Şekil 3.21. a) Analitik yöntem ile silindirin modellemesi, b) Federli silindirin sonlu eleman metodunda Modellenmesi 36

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.22. a)Federile donatılmış silindirin sonlu eleman metoduyla modellenmesi, b) Deneysel testler 37

Şekil 3.23. Parçanın 150 N merkezi yükte deformasyonu 38

Şekil 3.24. Parça ve federin geometresi 38

Şekil 4.1. Plastik parçanın federsiz ve federli modeli 39

Şekil 4.2. Feder paraemtreleri 39

Şekil 4.3. Plastik parça üzerinde basınç uygulanacak yüzeyler 40

Şekil 4.4. Parçanın ansys yazılımında mesh yapılmış görüntü 42

Şekil 4.5. A, B ve C yüzeylerine basınç uygulandığında plastik parçada seçilen ankastre yüzeyi 42

Şekil 4.6. D yüzeyine basınç uygulandığında plastik parçada seçilen ankastre yüzeyi .. 43

Şekil 4.7. Federsiz plastik parçaya A yüzeyinden uygulanan basınç 43

Şekil 4.8. Federsiz plastik parçaya B yüzeyinde uygulanan basınç 44

Şekil 4.9. Federsiz plastik parçaya köşeden uygulanan basınç 44

Şekil 4.10. Federsiz plastik parçaya arkadan uygulanan basınç 44

Şekil 4.11. Federli plastik parçaya A yüzeyinden uygulanan basınç 45

Şekil 4.12. Federli plastik parçaya B yüzeyinden uygulanan basınç 45

Şekil 4.13. Federli plastik parçaya C yüzeyinden uygulanan basınç 45

Şekil 4.14. Federli plastik parçaya D yüzeyinden uygulanan basınç 45

Şekil 4.15. Federsiz parçaya A yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı 46

Şekil 4.16. Federsiz parçaya B yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı 46

Şekil 4.17. Federsiz parçaya C yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı 47

Şekil 4.18. Federsiz parçaya D yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı 47

Şekil 4.19. Federsiz parçaya A yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı 48

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.20. Federsiz parçaya B yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı 48

Şekil 4.21. Federsiz parçaya C yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı 48

Şekil 4.22. Federsiz parçaya D yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı 49

Şekil 5.1. A yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları 52

Şekil 5.2. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 53

Şekil 5.3. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder kalınlığına bağlı olarak değişimi 54

Şekil 5.4. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder yarıçapına bağlı olarak değişimi 55

Şekil 5.5. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder açısına bağlı olarak değişimi 57

Şekil 5.6. A yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri 58

Şekil 5.7. B yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları 61

Şekil 5.8. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin yüksekliğinin deformasyon 62

Şekil 5.9. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının deformasyon üzerinde etkisi 63

Şekil 5.10. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının deformasyon üzerinde etkisi 64

Şekil 5.11. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının deformasyon üzerinde etkisi 65

Şekil 5.12. B yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri 66

Şekil 5.13. C yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları 69

Şekil 5.14. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin yüksekliğinin deformasyon üzerinde etkisi 69

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.15. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının deformasyon üzerinde etkisi 71

Şekil 5.16. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının deformasyon üzerinde etkisi 72

Şekil 5.17. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının deformasyon üzerinde etkisi 73

Şekil 5.18. C yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri 74

Şekil 5.19. D yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarlar 77

Şekil 5.20. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıkta federin yüksekliğin deformasyonda üzerinde etkisi 78

Şekil 5.21. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının deformasyonda üzerinde etkisi 79

Şekil 5.22. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının deformasyon üzerinde etkisi 80

Şekil 5.23. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının deformasyon üzerinde etkisi 82

Şekil 5.24. D yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri 83

Şekil 5.25. A yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. 89

Şekil 5.26. A yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 90

Şekil 5.27. A yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder kalınlığına bağlı olarak değişimi 92

Şekil 5.28. A yüzeyiden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yarıçapına bağlı olarak değişimi 93

Şekil 5.29. A yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder açısına bağlı olarak değişimi 95

Şekil 5.30. A yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin gerilme üzerindeki etkileşim grafikleri 97

Şekil 5.31. B yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. 1010

Şekil 5.32. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 101

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.33. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 103

Şekil 5.34. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 104

Şekil 5.35. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 106

Şekil 5.36. B yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri 107

Şekil 5.37. C yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. 110

Şekil 5.38. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 111

Şekil 5.39. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 112

Şekil 5.40. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 113

Şekil 5.41. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi 114

Şekil 5.42. C yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri 116

Şekil 5.43. D yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları 118

Şekil 5.44. D yüzeyine uygulanan basınçta fraklı kalınlıkta federin yüksekliğin gerilme üzerinde etkisi 119

Şekil 5.45. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının gerilme üzerinde etkisi 121

Şekil 5.46. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının gerilme üzerinde etkisi 122

Şekil 5.47. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının gerilme üzerinde etkisi 124

Şekil 5.48. D yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri 126

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
Deformasyon	Total deformasyon
Gerilme	Vonmises gerilme
h	Feder Yüksekliği
r	Feder yarıçapı
t	Feder Kalınlığı
α	Feder açısı

1. GİRİŞ

Günümüzde geleneksel malzemelerin yerini gittikçe artan oranda poliimer malzemeler almakatdır. Polimerler içerisine katılan katkı maddeleri ve plastikleştiricilerle ensdüstriyel ürüne dönüştütülerek plastik parçalar veya ürünler elde edilmektedir. Plastikler ucuz, hafif, kolay şekillendirilebilir, kimyasallara karşı dayanımı, düşük ısıl ve elektriksel özellikleri gibi bir nednele günümüzde gittikçe artan oranda -kullanılmaktadır. Endüstrinin hemen hemen her aşamasında plastik ürün kullanılmaktadır.

Plastik parçalar tasarlanırken fonksiyon ve estetik görünümünü gibi etkenlerin yanında maliyet, üretilebilirlik, dayanım gibi parametreler de önem arz etmektedir. Bir parçanın dayanımını artırmak için ürünün üretildiği malzemesi değiştirilmeli ya da iyileştirilmeli malzemesi, parçanın kalınlıkları ve boyutları artırılmalı veya ürünün dayanımını artırıcı geometrik elemnalrın eklenmesi gerekmektedir. Bu dayanım artırıcı şekil değiŞekillikleri ürünün fonksiyonelliğini etkilemeden feder olarak tanımlanan destek plakaları ve omurgaların yerleştirilmesi ile sağlanabilmktedir.

Plastik parça tasarım ve üretimi ile ilgilenen tasarımcılar ve araştırmacılar ürün tasarımının yanın da ürünün kalıplanabilirliği, maliyeti, görünümü ve dayanımını analiz eden bir çok parametreyi incelemektedirler. Plastik ürün tasarım aşamasındayken parçanın mekanik analizleri, kalıp içerisindeki akış analizi ve simülasyonu gerçekleştirilir ve beraberinde kalıp tasarımı yapılır. Plasitk parça tasarımı, mekanik ve akış-ısıl vs analizleri ve kalıp tasarımı geri beslemeli olarak beraber gerçekleştirilen karmaşık bir süreçtir. Tasarım ve analizler bilgisayar ortamında yapılamaktadır [1]. Tasarımlar CAD ortamınd yapıldıktan sonar mekanik analizler ya CAD programında gerçekleştirilmekte yada Ansys gibi profesiyonel yazılımlar ile yapılmaktadır [2]. Benzer şekilde akış ve ısıl analizler ise Moldflow, Cadmould, mOldx gibi ticari yazılımlar veya Fluent gibi professiyenel yazılımlar ile yapılmaktadır. Fakat, plastik parça tasarımında bağımsız parameter ve bağımlı parameter sayısı arttıkça analiz ve araştırmada da alternatiflerin sayısı artmaktadır. Genellikle analizler tam faktöriyel olarak tüm parametreleri dikkate alarak gerçekleştirilerek istendiğinde analizler oldukça uzun süre almaktadır. Bu bağlamda tasarımcılar ve araştırmacılar parametreleri belirledikten sonra Taguchi gibi özel metotlar kulanarak deney tasarımı yaparak kullanılacak parametreleri istenilen ve en uygun sayıya indirgeyerek daha az analiz ile daha fazla parametrenin kullanılması ve optimizasyonu

gerçekleştirilebilmektedir. Bunların yanında elde edilen analiz saonuçları ya da deneysel sonuçlar istatistiki yöntemler ile incelenerek parametreler arasındaki iliŞekiler belirlenebilmektedir [1].

Plastik parça tasarımında plastik ürünün et kalınlığını artırmadan mukavemetini artırmanın en Pratik yollarından biri feder yapılarının oluşturulmasıdır. Plasitk parçanın maliyetlerini fazla artırmadan mukavemetinin artırmak için yapılan feder üzerinde bir çok parametre bulunmaktadır. Bunlar; federin şekli, uzunluğu, yüksekliği, kalınlığı, federin açısı, feder diplerindeki yarıçaplar gibi parametreler ürünün mukavemetini etkileyen ana parametrelerdir [3].

Gerçekleştirilen bu çalışamda örnek olarak seçilen bir plastik parçaya feder yapıları eklenmiştir. Feder üzerinde feder kalınlığı, federin yüksekliği, federin açısı ve feder diplerindeki yuvarlama yarı çapı (yarıçap) parametr olarak belirlenmiş olup bu parametrelerin farklı değerleri kullanlarak plastik parçanın mukavemetine etklileri incelenmiştir. Solidworks ortamınd tasarımı yapılan plastik parçanın analizleri Ansys ile gerçekleştirilmiştir. Feder olmayan plastik tasarımı üzerine farklı noktalarda akma dayanımına eşdeğer gerilme uygulanmıştır. Değişik alternatiflere sahip olan federli plastik parçalar da aynı gerilmeler uygulanarak federlerin plastik parça mukavemetine etkileri incelenmiştir.

2. PLASTİK PARÇA TASARIMI VE TASARIM KRİTERLERİ

2.1. Tasarım ilkeleri

Günümüzde plastikler, sanayide oldukça önemli bir konuma gelmişlerdir. Artık plastikler gıdaların paketlenmesinde, ulaşıma kadar hemen hemen her sahada başarıyla kullanılmaktadır. Plastikler, üretim kolaylığı, hafiflik ve ekonomikliğinin yanında estetik ve kendinden renklendirilebilme özellikleri en büyük avantajlarıdır. Dolayısı ile plastik mamullerin günümüz yüksek rekabet ortamında kendinden istenen işlevi en iyi şekilde yerine getirebilmesi için uygun test yöntemlerinin seçilmesi ve optimum tasarımın gerçekleşmesi gereklidir [4].

Plastik parçaların tasarımında başlangıçta malzeme seçimi ve malzeme özeliklerinin belirlenmesi ve tasarım kriterleri belirlenirken metallere uygulanan test metotları uygulanmaktadı. Ancak plastikler ile metallerin fiziksel yapılarının farklı olması nedeniyle tasarımda ve yapısal analizlerde hata ve ciddi sapmalara neden olduğundan dolayı düşük kalitede mamül üretilmesine sebep olmaktadır.

Parçaların geometrik tasarımında da dikkatli olunmalıdır. Plastik parçların tasarımı ve üretimi sırasında veya kalıplama işleminden sonra hatalı üretim, çarpılma, büzülme, malzeme dolmamış bölgeler (boşluklar) gibi sorunlar istenmemektedir. Bunun için delikler, federler, akış yönlendiriciler ve mukavemet artırıcı kaburgalar, dişler gibi kısımların boyutlandırılmasında standartlara ve tasarım kriterlerine uyulmalıdır [5].

Tasarım sırasında plastiklerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile ilgili temel bilgilerin bilinmesi de faydalı olacaktır. Böylece parçanın, istenen fonksiyonu başarıyla yerine getirebilmesini sağlayacak en uygun malzeme seçilebilecektir.

Plastik parçaya ait bilgilerin yeterli ve doğru olabilmesi için aşağıdaki bilgilere sahip olunmalıdır.

1) Plastik parçanın fonksiyonları,
2) Plastik malzemelerin davranışları,
3) Konuyla alakalı bütün ekonomik ve psikolojik faktörler,

4) Plastik işleme yöntemleri,
5) İşleme teknolojisi.

Tasarımcının imalat yöntemi bakımından daha fazla bilgi sahibi olması, daha iyi bir tasarım demektir [6]. Başarılı bir plastik ürün tasarımında aşağıdaki dört temel unsurun unutulmaması gereklidir:

1) Ürünün tasarımı,
2) Ürüne en uygun plastik malzeme seçimi,
3) Üretim için gerekli alet ve takımların (makine, kalıp) tasarımı, bir araya getirilmesi,
4) Malzemelerin kalıplanması yani üretimidir [7].

2.2. Tasarım Parametreleri

Yaygın plastik parçalarının çoğu için çeşitli tasarım faktörleri bulunmaktadır.

- Plastik parça et kalınlığı;
- Federler (Ribs),
- Çıkıntılar (Boss),
- Kalıptan çıkarma açıları (Draft angle).

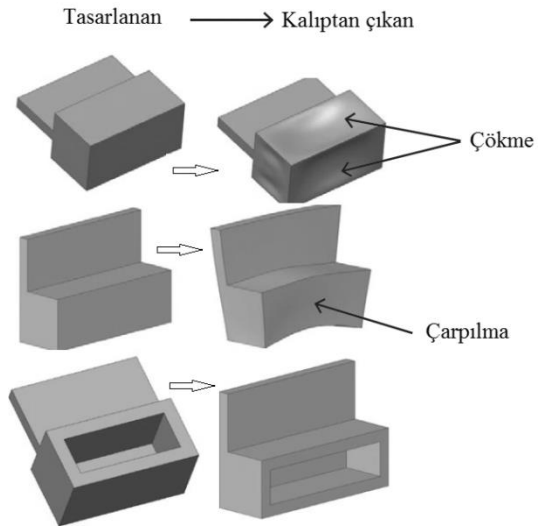
Bu tez kapsamında ele alınan kriter olan feder tasarımında ise 5 ana parametre dikkate alınmaktadır. Bunlar;

- Kalınlık,
- Yükseklik,
- Konum,
- Sayı,
- Kalıplama kabiliyeti.

Plastik parça üretimi sırasında maliyetleri belirleyen en önemli parametrelerden biri malzeme maliyetleridir. Yani plasitk hammade maliyetidir. Bu maliyetler parça kalınlığına bağlı olarak artmakta ya da azalmaktadır. Ancak parça et kalınlığı aynı zmaanda plastik ürünün mekanik özeliklerini de etkilemektedir. Plastik parça kalınlığı, en uygun dolum

süresi malzeme maliyetleri, ağırlık ve üretilebilirliğin uyum içerisinde olması gerekmektedir. Beklendiği gibi, parça et kalınlığı ince olduğunda kalıp içerisindeki ergimiş halldeki plastik hızla soğuyabilmektedir. Dolayısıyla bir ürünü üretebilmek için gerekli olan tüm süreçleri barındıran bir çevrim süresi daha kısa olmaktadır. Böylelikle birim zamanda yapılan üretim miktarı artmakta ve plastik ürününü birim maliyetleri düşmektedir. Genelde enjeksiyon kalıplama yöntemle üretilen parçaların et kalınlıkları 2 mm ile 4 mm aralığındadır. Bunun yanında, 0,05 mm kalınlığında ince et kalınlığına sahip plastik parçalar da enjeksiyon kalıplamada üretilebilmektedir.

Duvarların kalınlıkları üniform olan parçalarda, kalıbın boşluğunun erimiş plastikle doldurmasının daha kolay olduğu tespit edilmektedir. Eğer duvarların kalınlığı aynı olmazsa, ince olduğu bölümün daha hızlı soğumaktadır, ayrıca kalın olduğu bölümün daga yavaş soğumaktadır dolayısıyla kalınlıkları farklı olan iki bölümün sınır bölgesinde gerilme oldukça artmaktadır. İnce bölüm erken sertleştiği için bu gerilme neticesinde teslim olmayıp ve sonucunda kalın bölümün eğilmesine sebep olumaktadır. Gerilme şiddetli olduğunda, çatlamaya sebep olabilmektedir (Şekil 2.1).



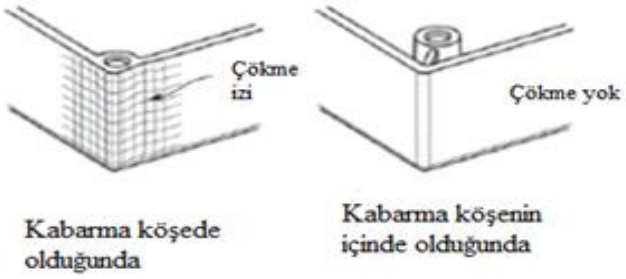
Şekil 2.1. Özdeş et kalınlıklarının çökme ve çarpılmaya etkileri

2.3. Üretim Sürecinde Yaygın Kusurlar

2.3.1. Boşluklar ve kasılma

Kasılma sorunları, kalınlığı tek düzen olmayan duvarların birleşmesinde gerçekleşmektedir. Bu kusur duvarda bulunan federler, çıkıntılar veya herhangi bir başka

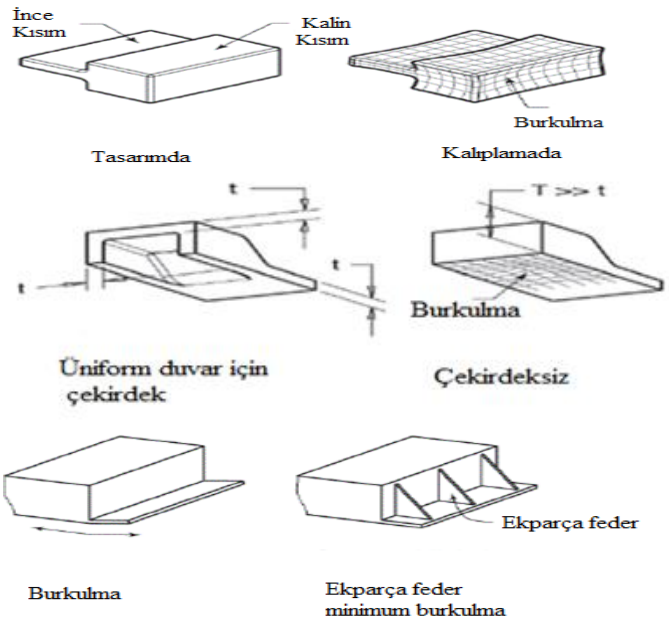
tasarımda meydana gelebilmektedir. Kalın duvarlar daha yavaş soğuduğu için esas duvara bağlanan kesimler küçülmektedir dolayısıyla duvarda içeriye doğru çökmüş bölgenin oluşması bulunmaktadır. Kasılmayı en aza düşürmek için feder kalınlığı, bağlanan duvarın et kalınlığının %50 ile %60 arasında olmalıdır. Çok kalın duvarların köşesinde yerleşen kabarma, çökme oluşumuna sebep olmaktadır, çökmeye önlemek için aşağıdaki resim gibi yapılmalıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Dayanıklığı artırmak üzere köşede boşluk oluşumu

2.3.2. Eğilme

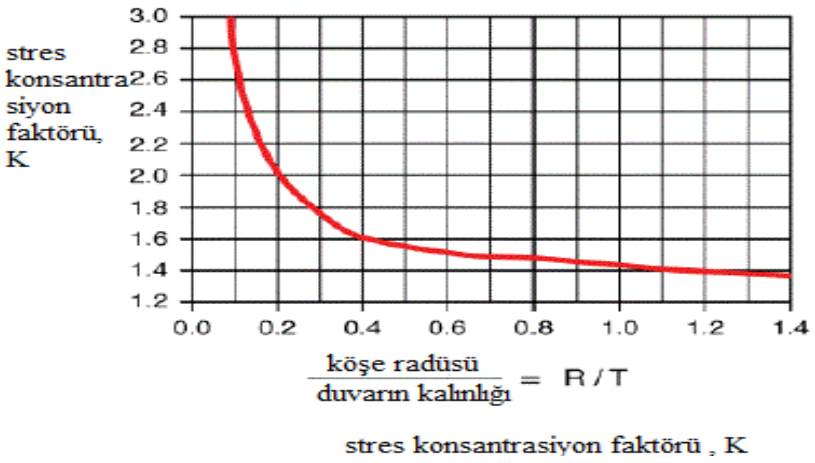
Kalın ve ince bölümlerin oluşan parçalarda soğuma sürelerin farklı olduğu için eğilmeye bulunmaktadır. Kalın bölümde soğuma sürecinde maddeleri kasılmaları, eğilmenin gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Eğilmenin başka nedenleri; kalıplama süreci ve enjeksiyon yapı basınçları, soğutucu oranı, ambalaj sorunları ve kalıbın sıcaklığı olabilmektedir (Şekil 2.3).



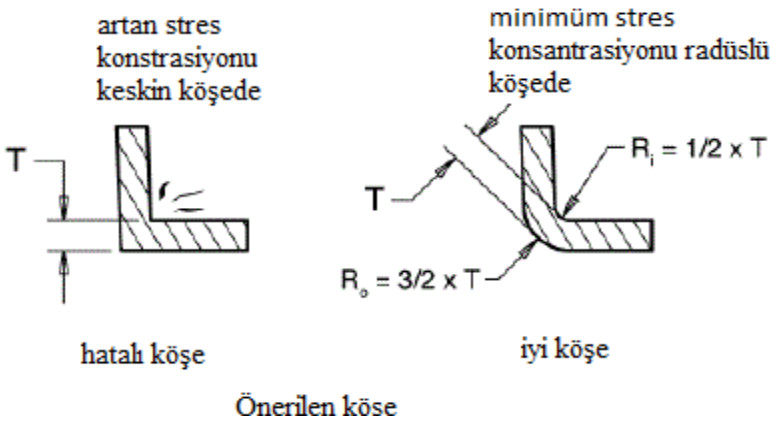
Şekil 2.3.Yapıda bölgesel eğilme ve bozulma etkilerin azalması için uygun feder tasarımı

2.3.3. Gerilme konsantrasyonu

Keskin köşelerde gerilmenin artması büyük ölçüde parçanın hasar görmesine yol açabilmektedir. Keskin köşelerde yarıçap gerilmenin artmasına sebeb olduğu için dikkatta alınmalıdır. Grafikte görüldüğü gibi gerilme konsantrasyon R/T oranı 0,5 az olduğu zaman yüksek ve R/T oranı 0,5 çok olduğnda azalmaktadır [8]. Gerilme konstrasyon faktörü gerilmeği artan çarpandır (Şekil 2.5).



Şekil 2.4. Gerilme konstrasyon grafiği



Şekil 2.5. Yarıçapın keskin köşede etkisi

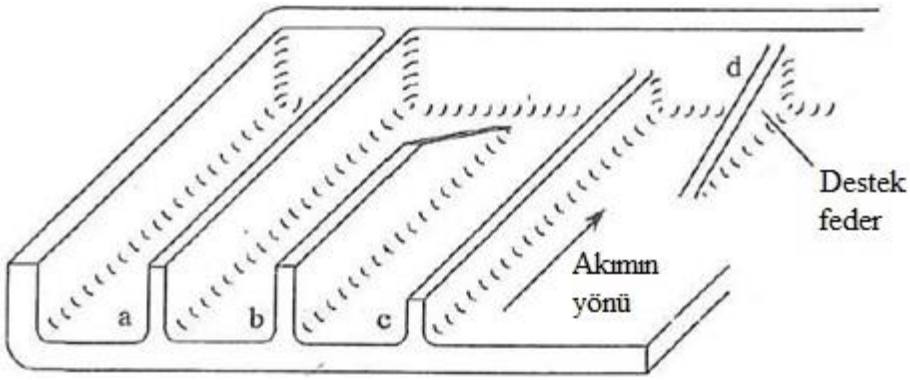
2.4. Plastik Parçada Federin Tanıtımı Önemi ve Genel Görümü

Plastik parçalarda feder, parça et kalınlığını artırmadan parçanın mukavemetini ve rijitliğini artırmaya yarayan unsurlardır. Federler plastik parçanın mukavemetini artırıp performansı iyileştirirken kalıplanabilirliği de engellememelidir. Federler, genellikle plastik ürün üzerinde estetikliği bozmadan, ürünün fonksiyonlarını engellemeyecek ve görünmeyen yüzeylere yerleştirilir. Genellikle en fazla gerilme ve deformasyonun

bulunduğu yerlere yerleştirilir. Federin yerleştirileceği yerler belirlenirken plastik parçanın kalıplanması sırasında kalıp boşluğunun dolumu, kalıplama sonrası çekme, çarpılma gibi parametreler de dikkate alınır. Federlerin diğer kullanımları şunlardır:

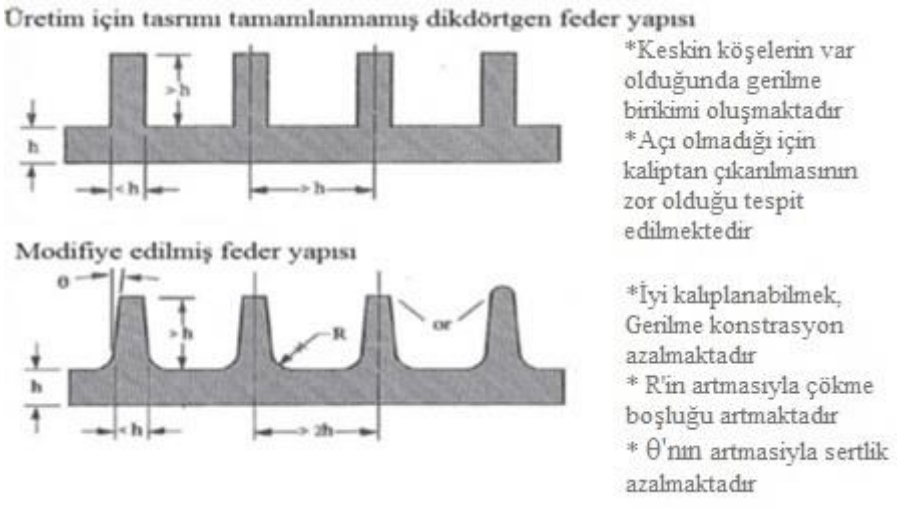
- Montaj parçaların bileşenlerini yerleştirip tespit etmek,
- Çiftleşme bölümlerinde uyumun sağlanması
- Mekanizmalar içininde durak, rehber ya da hareketin sağlaması

Feder yapıları aşağıdaki Şekil'de görüldüğü gibi parçanın tüm boyunca parça yüksekliğinde olabilir. Plastik parçanın bir ucundan diğer ucuna parça yüksekliğinde ancak karşı yüzeye tam ulaşmadan kesilebilir (Şekil 1.b). Parça boyunca fakat parça yüksekliğinde daha kısa olabilir (Şekil 1.c). Ya da Şekil 1.d'de görüldüğü gibi feder köşede açılı bir şekilde yerleştirilir dikey duvarların destekleyerek mukavemet artırabilir.



Şekil 2.6. Plastik parçada feder numuneleri

Plastik parçanın mukavemeti artırmak için kullanılan en basit feder, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi dikdörtgen federdir. Ancak, estetik kaygılar ve keskin köşelerde gerilme birikmesini engellemek için federin yapısında değişiklikler yapılır. Böylece, hem görünüm iyileştirilmiş olur hem de parçanın mekanik özelliklerinde daha büyük artışlar sağlanmış olmaktadır [9].



Şekil 2.7. Federlerin geometri optimizasyonu

2.5. Feder Tasarımında Önemli Parametreler

Optimüm feder tasarımında parçanın et kalınlığı en önemli faktördür. Başka faktörler et kalınlığıyla orantılıdır, .

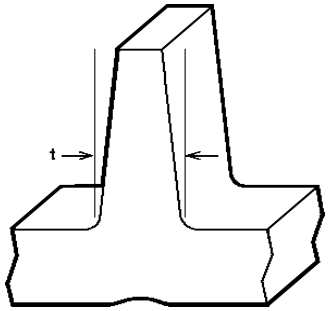
Feder tasarımında:

- Federin kalınlığı,
- Çıkma açısı,
- Federin boyutu,
- Federler arasındaki aralık
- Köşe yarıçapı, gibi parametreler göz önüne alınmalıdır.

Ayrıca Malzeme, yüzey yapısı, renk, yolluk girişine yakınlığı, feder tabanında olan kalınlık ve işleme koşulları çökme şiddetini belirleyen faktörlerdir [10].

2.5.1. Federin yüksekliği

Federin yüksekliği parçada et kalınlığının 2,5 ile 3 katı olmalıdır. Genellikle, uzun boylu feder daha fazla destek sağlayabilir. Kalıp dolumu esnasın kalıp içerisindeki havanın tahliyesi ve enjeksiyon problemlerini önlemek için federin boyu yaklaşık tabandaki parça kalınlığının üç katı olmalıdır (Şekil 2.8).

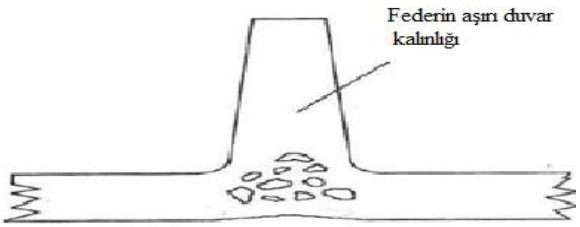


Şekil 2.8. Federin yüksekliği

Ayrıca, çok uzun boylu federler yük altında bükülmeye yatkındır. Bu sorunu çözmek içiniki veya daha fazla kısa feder tasarlanmalıdır.

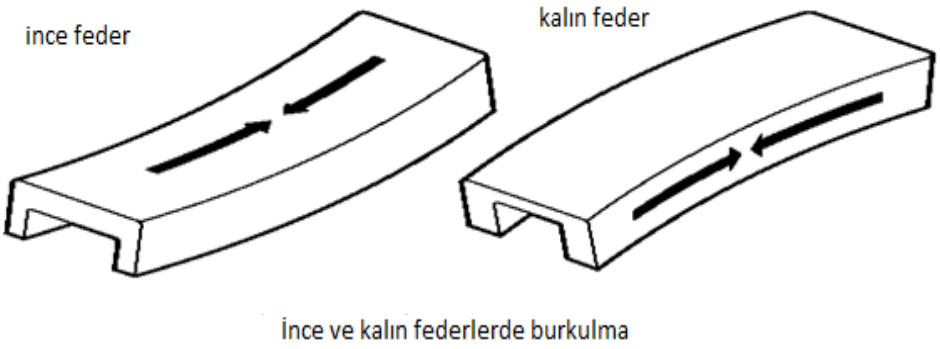
2.5.2. Feder kalınlığı

Federin kalınlığı parça kalınlığının % 50-75 oranında olmalıdır.Birçok faktör uygun feder kalınlığının belirlenmesindeetkilidir. Kalın feder kullanımı mukavemeti arttırsa bile genellikle karşı yüzeyde çökme ve kozmetik sorunlarına yolaçar (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Federin kalınlığı

Federin kalınlığı ayrıca soğuma hızığı ve çarpılma ve büzülme oranını da belirler. Feder kalınlığı parça kalınlığından çok az olursa feder elemanı diğer yerlerden erken katılaşacağı için üründe çarpılmaya sebebiyet verebilir. Şekil 2.10'daki gibi, feder kalınlığı plastik parça kalınlığına eşit olursa ürün dışa doğru bükülme eğilimindedir. Parça kalınlığından fazla olursa parça içe doğru bükülmeye çalışır. Bu nedenle feder kalınlıkları parça kalınlığına göre ne çok kalın ne de çok ince olmamalıdır.

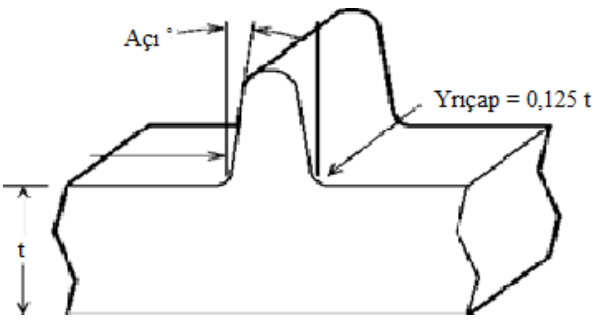


Şekil 2.10. İnce ve kalın federde burkulma

Parça kalınlığı 1 mm ve daha az ise feder kalınlığı parça kalınlığına eşit olabilir. Federin kalınlığı kalıplanabilirliği etkilediği için çok ince federlerin doldurulması zorlaşır. Bu nedenle eksik dolum olmaması için feder kalınlıkları dolumu engellemeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

2.5.3. Feder açısı

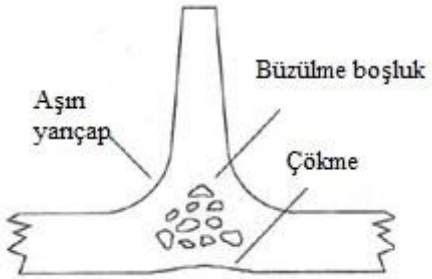
Federin her tarafdan açısı 0,5 – 1,5 olmalıdır. Parçanı kalıptan çıkmasını kolaylaştırmak için federin açısı genellikle her tarafta 0,5 – 1,5 olmalıdır. Her tarafta tasarlanan parça 1,5 dereceden daha fazla olursa federin kalınlığının azalmasına yol açar ve uzun boyutlu federde doldurma sorunlarına neden olabilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Federin açısı

2.5.4. Federin yarıçapı

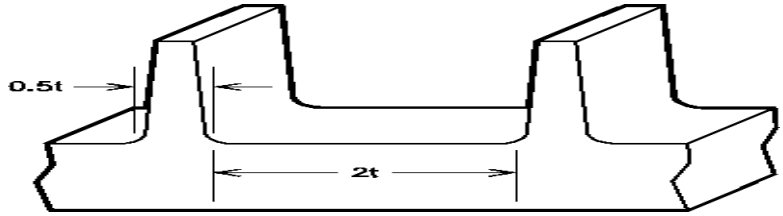
Köşe yarıçap miktarı et kalınlığının 0.125 ile 0.4 katı olmalıdır. Daha büyük yarıçapın kullanımı teorik olarak bölgesel gerilme konsantrasyonunun azalmasına neden olsa bile, yarıçap ile ilişkisi olan yüzeyde çökme boşluklarına yol açabilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Feder yarıçap çok olduğunda çökme meydana gelmektedir

2.5.5. Feder arasındaki mesafe

Çökmeye neden olan gerilimler ve yapı içerisindeki boşluklar nedeniyle nihai dayanımın azalmasına sebep olur. Feder arasındaki mesafe parça kalınlığının minumum 2-2.5 katı olması kalıplanabilirlik açısından iyi olur (Şekil 2.13).

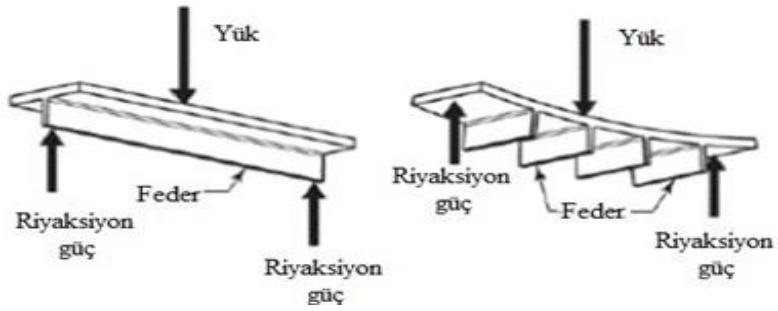


Şekil 2.13. Kalıbı soğutmak için federler arasında yeterli boşluk

Kısa federler için parça kalınlığı en az iki kat olmalıdır. İnce ve çok sayıda olan, kısa federlerin performansı, az sayıda olan, geniş ve derin federlere göre gerilim ve imalat açısından daha avantajlıdır. Federler genellikle dolumu kolaylaştırmak için akış yönlendirici olarak kullanılabilirler. Bazen de feder kalıplama sırasında hava kabarcığı hapsolmasını engellemek için kullanılır. Yerleştirilen feder kalıp içerisinde erğimiş plastiğin akışını yönlendirerek havanın istenilen bölgeye yönlendirilmesini sağlar ve böylece hava kabarcıklarının istenmeyen bir yerde hapsolmasını engeller [10].

2.6. Yapının Sertliği Üzerinde Feder/Güç Etkisi

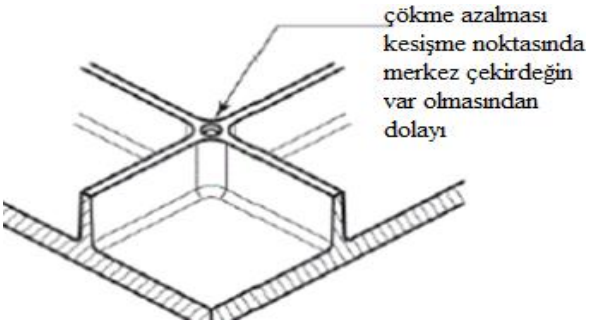
Feder oryantasyonu, parçaların yükleme bölümünde en fazla bükme sertliği sağlayacak şekilde olmalıdır. Şekil 2.14'te görüldüğü gibi tasarımcılar Parçanın geometrisine göre, gücü dikkate alarak feder oryantasyonunu, sertliğin artmasına sebep olacak şekilde seçmelidirler. En yüksek dayanaklığı elde etmek ve çeşitli yükleme ve destekleme koşulları için federlerin standart yerleşmesi gerekmektedir [11].



Şekil 2.14. Konsantre yük karşı farklı feder oryantasyonu

2.7. Federlerin Kesişme Noktası

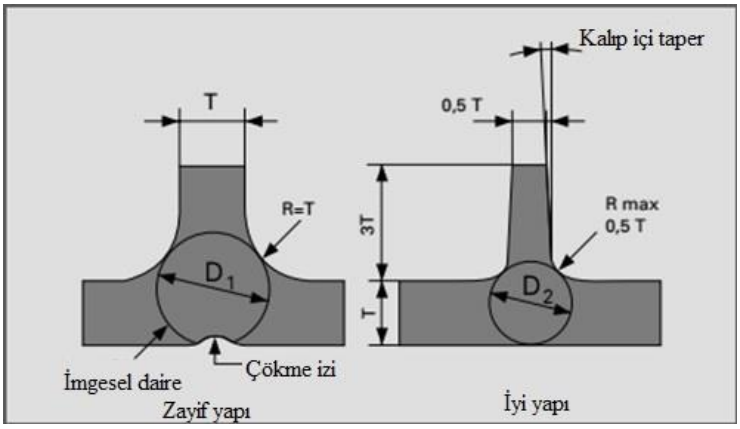
Feder kesişme noktasında malzemelerin kalınlığının daha çok olduğu için parçanın karşı tarafında çökme oluşabilmaktedir, Şekil 2.15'te belirlendiği gibi çökme oluşmasını engellemek için maddeleri yok edilmesi amacıyla çekirdek alma (merkezi boşaltma) gibi yöntemler kullanılmalıdır**.**



Şekil 2.15. Feder kesişme noktasında merkezi çekirdek.

Eğer beklenen sertlik, tasarımda gerçekleşmez ise, yüksek bir elastik modüle sahip olan maddenin seçilmesi tavsiye olunmuştur. Elastik modülü yükseltmenin bir basit yolu polimer'de Fiber takviye edici içeriğinin artırmasıdır [11].

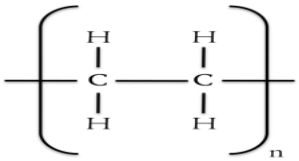
Tasarımında uygulamalı ipuçların özet diyagramı Şekil 2.16'da görülmektedir. Ancak plastik parçanın çökme sorunu plastik enjeksiyon yönteminde basıncı artarak ve ya soğutma yöntemlerin optime edilmesile kısmen gidirmektedir.



Şekil 2.16. Feder tasarımında uygulamalı ipuçların özet diyagramı

2.8. Üretim Sürecinde Polimerler ve İşlevsel Maddeler

Polimerler çok sayıda makro molekülün düzenli bir şekilde, kimyasal bağlarla bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Şekil 2.17'de görüldüğü gibi polimer küçük, basit kimyasal birimlerin tekrarlanması ile meydana gelmiş uzun moleküllerdir. "Poli-" kelimesi Latince "birden fazla , çok" anlamına gelmektedir. "Mer" adı verilen ünitelerin tekrarlanması ile polimerler meydana gelmektedir. Sonuç olarak polimerler "monomer" denilen birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadırlar [12].



Şekil 2.17. Monomerlerden yapılmış bir polimer zinciri

2.8.1. Polimerlerin sınıflandırılması

Termosetler

Isı ile katalizörle, mor ötesi ışımayla muamele edildiğinde genellikle çapraz bağlı bir yapı meydana getirerek, sertleşen ve artık tekrar ısıtıldığında yumuşamayan plastiklerdir. Ayrıca bu malzemeler çözünmezler. Makro moleküller birbirlerine çeşitli yerlerinden kısa aralıklarla kovalent bağlarla bağlanmış yani ağlanmışlardır. Bu ağ yapı sıcaklık ve basınç altında oluşur (sertleşir) ve tekrar çözülmez. Bu sebeple bir daha şekillendirildikten sonra kimyasal yapı bozulana kadar, tekrar yumuşatmak, şekillendirmek ve kaynatmak mümkün

değildir. Sıcak ortamda kimyasal yapıları bozulana kadar önemli oranda yumuşamadıkları için sıcaklığa karşı daha dayanıklıdır [13].

Termoplastikler

Termal enerji (ısı) ve basınç uygulandığında kolaylıkla yumuşayan, deforme olabilen, akıcı durumda herhangi bir şekil de alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Lineer polimerler grubuna dahil olan termoplastikler tekrar tekrar kullanılabilme özelliğine sahiptirler. Şekillendirilmeleri sırasında herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Termoplastikler,birden fazla ısıtma ve soğutma işlemine tabi tutularak kalıplanabilir. Bunun için termoplastiği oluşturan moleküllere ait atomlar birbiriyle bağlanarak zincirler meydana getirirler. Isıtıldığında, bu maddenin akıcılığını sağlar. Soğutulduğunda katılaşan atom zincirleri yeniden ısıtıldığında birbiri üzerinden kayan zincir şeritleri meydana getirirler. Termoplastikler lineer moleküllere sahiptirler. Lineer moleküllerde zinciri oluşturan ünitelerin arasında çok kuvvetli kovalent bağlar bulunmaktadır. Moleküller arasında ise fiziksel bir bağ bulunmamaktadır [14].

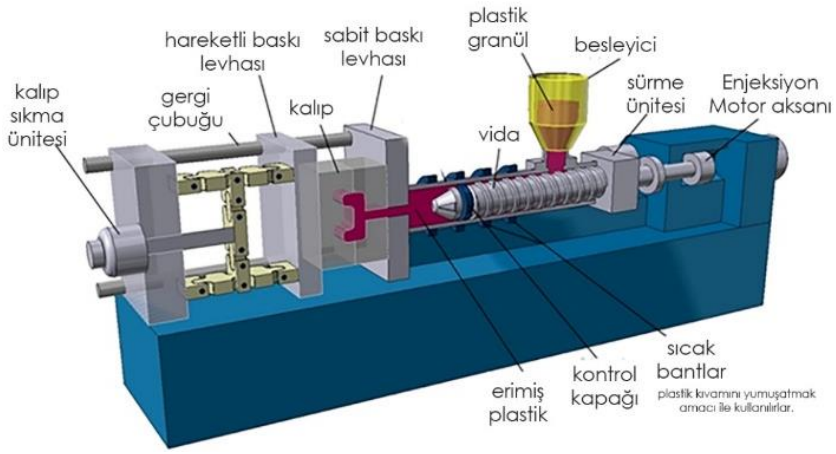
Elastomerler

Çekme kuvveti altında çok yüksek oranda uzama gösteren ve kuvvet kaldırıldığında anında ilk uzunluğuna dönen, çapraz bağlanmış kauçuğumsu polimerlere, ya da başka bir deyişle kauçuğumsu ağyapılara, elastomer adı verilir.Elastomer terimi kauçuk terimiyle birbirilerinin yerine kullanılabilirler. Elastomerler amorf yapılı polimerlerdir. Normal kullanım sıcaklıkları camsı geçiş sıcaklıklarının üzerindedir, böylelikle büyük oranda moleküler parça hareketi muhtemeldir. Sert plastikler normalde camsı geçiş sıcaklığının altında ya da oda sıcaklığında yarı kristalin olarak katıdırlar [15].

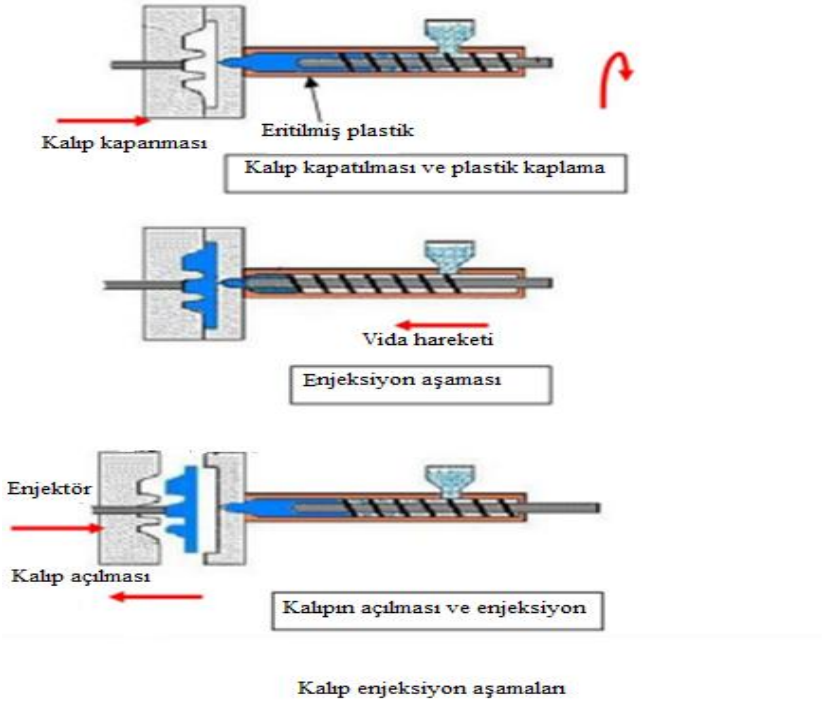
2.9. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama metodu, en çok termoplastiklerin şekillendirilmesinde uygulanan bir metottur. Şekil 2.18'de gösterildiği gibi toz veya küçük taneler (granül) halindeki termoplastikler, huni yardımıyla, silindir içerisine gönderilir. Isıtıcılar tarafından ısıtılan silindirin sıcaklığı, plastik malzemenin cinsine göre ayarlanır. Silindirin içerisinde ısıtılan plastik madde, hidrolik pistonla veya helezon vidalı mil yardımıyla silindir sonuna doğru

taşınır. Yayıcı aracılığıyla hız kazanan erimiş plastik, kalıp boşluğunu doldurur. Kalıp iç boşluğunun şeklini alan plastik, soğutulur. Kalıp açılarak plastik parça çıkarılır [16].



Enjeksiyon sisteminin genel görünüşü



Şekil 2.18. Plastik enjeksiyon sürecinin genel şeması

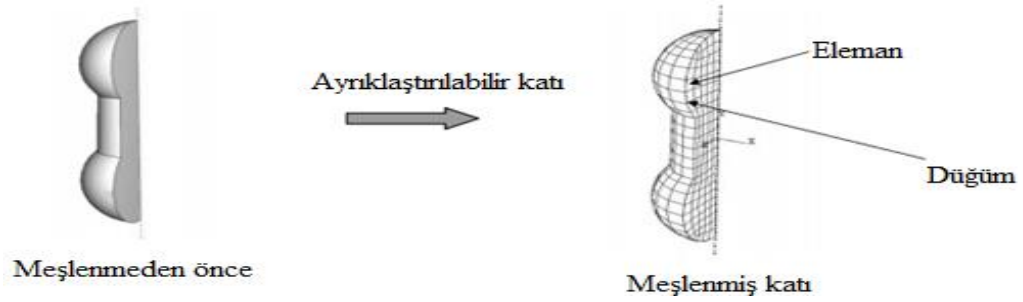
2.10. CAE, CAD ve Modelleme Sürecinin Tasarımı

2.10.1. Sonlu elemanlara giriş

Sonlu elemanlar yöntemi "parçadan bütüne gitme" genel prensibine dayanmaktadır. Sonlu eleman; iki veya üç boyutlu yapıların bir parçası veya bir bölgesidir. Bu yöntemin ilk ve en

geniş uygulama alanı "gerilme analizi"dir. Sonraları ısı analizi, akışkan analizi, piezoelektrik analizi, elektrik analizi vb. alanlarda da kullanılmıştır [17].

Sonlu elemanlar gerilme analizinde gerçek geometrik cismin, tam olarak formüle edilmesinin güçlüğü nedeniyle, bilgisayarda hesaplanması kolay olan elemanlardan oluşturulmaktadır. Daha sonra bilinen bütün fizik kuralları daha basit geometriye sahip olan bu küçük elemanların her birine uygulanmaktadır. Bütün cismin elemanlara bölünebilmesi için bir ağ yapısına ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2.19. Sonlu eleman yazılımında parçanın melşlenmeden önce ve meşlenmeden sonra oluşulan eleman ve düğme

Cismin boyutuna ve geometrisine uygun olarak seçilmiş elemanlara bölünmüş haline sayısal model denilmektedir. Şekil 2.19'da görüldüğü gibi sayısal modeli oluşturan elemanların birbirlerine temas ettiği yüzeylerde düğüm noktaları oluşturulmaktadır. Mümkün olduğunca çok sayıda eleman kullanmak,kuvvet dağılımının daha duyarlı ölçülebilmesi açısından önemlidir. Belirli bir başlangıç noktasına göre tüm düğümlerin x, y, z eksenleri üstündeki koordinatları saptanarak bilgisayara aktarılmaktadır. Ayrıca, geometrik şekli oluşturan tüm elemanların malzeme özelliklerini belirleyen, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri bilgisayar programına tanıtılmaktadır. Oluşturulan matematik modelde, düğüm noktalarına dışarıdan en basit dış etken ve sınır şartlarının uygulanmasıyla meydana gelen değişiklik durumları için matrisler oluşmakta, bu matrisler bilgisayar yardımıyla çözülmektedir. Bu yolla her bir elemandaki ve dolayısıyla elemanların oluşturdukları cismin tamamındaki gerilme ve şekil değiştirmeler elde edilmektedir [18, 19, 20]. En temel şekliyle sonlu elemalar yönteminde sistem temel olarak aşağıdaki matris formuna dönüştürülür.

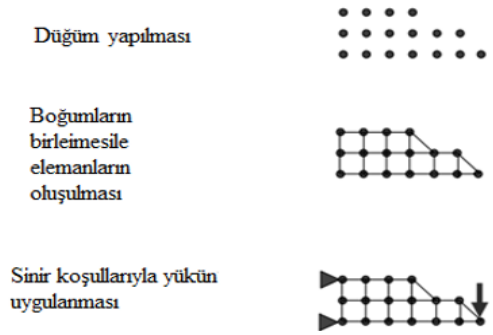
$$[K] . [D] = [R]$$

Burada; [D] büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör (vektor matrisleri sütun şeklindedir), [R] bilinen yük vektorü ve [K] ise bilinen sabitler matrisidir. Daha basite indirgersek R sınır şartlarını (dışarıdan etkiyen yükler gibi), K sistemin yapısını (katı, akışkan, gaz vb özellikleri) ve D ise aranan nodlar üzerindeki değerlerdir (gerilme, kuvvet vb). Buradan anlaşılacağı üzere; D matrisinin bulunabilmesi için sistemi temsil eden büyüklüklerin (K matrisi) verilmesi gerekir ayrıca dışarıdan etkiyen sınır şartlarınında (R matrisi) bilinmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulabilmesi için öncelikle geometrik modeli oluşturmak gerekir. Ardından mesh işlemi ile eleman ve node (düğüm noktaları) oluşturulur [21, 22].

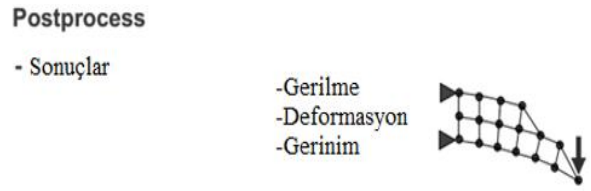
2.10.2. Yazılımda modeleme aşamalarının açıklaması

ANSYS genel amaçlı sonlu elemanlar paket programıdır ve fiziksel problemlerin çözümünde kullanılır. Bu problemler; statik/dinamik yapısal analizler (lineer veya lineer olmayan), ısı transferi ve akış problemleri ile akustik ve elektromanyetik problemleri içerir. Genel olarak, ANSYS kullanarak sonlu elemanlar analizleri üç kademede gerçekleştirilir:

1. Preprocessing: problemin tanımlanması; preprocessing ana kademeleri aşağıda verildiği gibidir:
- Anahtar nokta/çizgi/alan/hacimlerin tanımlanması,
- Eleman tipi ve malzeme/geometri özelliklerinin tanımlanması,
- Çizgi/alan/hacimlerin sonlu elemanlara bölünmesi.
2. Solution: yüklerin ve sınır şartlarının atanması ve çözümün gerçekleştirilmesi; bu kademede yükler (noktasal veya basınç) belirlenir, sınır şartları tanımlanır ve sonuçta çözüme gidilir. yük ve sınır şartlarının preprocessing kademesinde de tanımlanabilir ancak çözümün gerçekleştirilebilmesi için yine de çözücü işlemcisinin etkin hale getirilmiş olması gerekir (Şekil 2.20).
3. Postprocessing: sonuçların değerlendirilmesi; bu kademede şunlar yapılabilir:
- Düğüm noktası yerdeğiştirmelerinin listelenmesi
- Eleman kuvvet ve momentlerinin izlenmesi o Yerdeğiştirme çizimleri (Şekil 2.21)
- Gerilme diyagramları [23] .

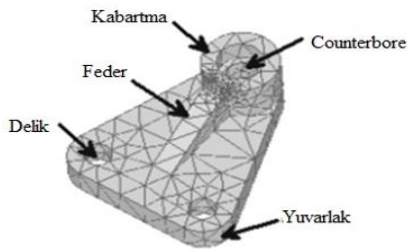


Şekil 2.20. Sonlu eleman yazılımında parçanın analiz aşaması



Şekil 2.21. Sonlu elemanyazılımında uygulanan koşullarda elde edilen sonuçlar

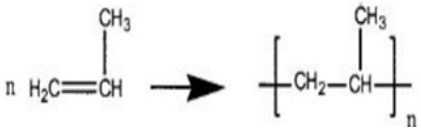
Şekil 2.22'de parçanın farklı kısımlarının meşlenmesi ve elemanların oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.22. Parçanın farklı kısımlarının meşlenmesi ve elemanların oluşumu

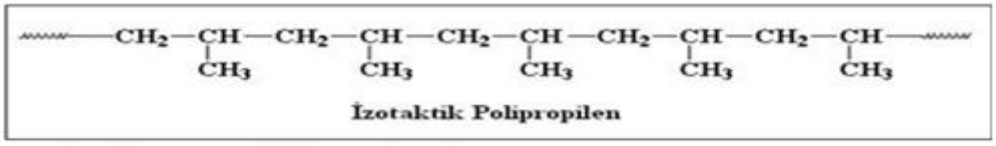
2.11. Madde Seçimi ve Özelliği

Polipropilen (pp) elyaftan filme kadar uygulaması olan çok yönlü bir termoplastiktir. Yapısında zincirdeki her bir karbona bağlı metil grubu bulunmaktadır. PP petrol ürünlerinden elde edilen propilen monomerinin polimerizasyonu ile elde edilir. Poliproilen hazırlama reaksiyonu aşağıda şekilde gösterilmiştir[24].

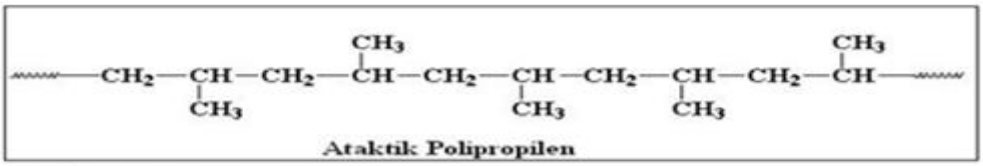


Şekil 2.23. Polipropilen hazırlama reaksiyonu

Polipropilenin ergime sıcaklığı 175°C civarında değişmektedir. Isıtma süresi oksidasyonu engellemek amacıyla minimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Polipropilen, bağıl yoğunluğu 0,905 olan hafif bir plastiktir. Mum beyazı görünümünde rijit bir ürün olup yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Çekme dayanımı 350 kg/cm^2 dolaylarındadır. Mekanik özelliklerini nispeten yüksek sıcaklıklarda da korur. Darbe dayanımı yüksek olmakla beraber düşük sıcaklıklarda üretim ve deney koşullarına bağlı olarak değişim gösterir. Ancak propilen ve etilenin kopolimerizasyonu ile kırılganlık önlenir. Polipropilen az doymuş veya doymamış lineer bir hidrokarbon polimer olup, izoaktik ve ataktik olmak üzere 2 grupta incelenir. İzoaktik polipropilen kristal yapıya sahip polimer, ataktik polipropilen ise amorf olup yapısı gelişigüzeldir. Polipropilenin özellikleri molekül ağırlığına bağlı olarak da değişmektedir. Molekül ağırlığı yüksek olan yumuşak, düşük molekül ağırlığı olan PP ise sert ve kırılgandır. Yüksek molekül 13 ağırlığı olan polimerin ergime direnci yüksektir. Düşük molekül ağırlığına sahip olan polimerin ise daha akıcı ve yapısal özellikleri daha iyidir (Şekil 2.24).



a)



b)

Şekil 2.24. İzotropik polipropilenin şematik şekli (a) ataktik polipropilen şematik şekli(b)

PP birçok makina ve beyaz eşya parçaları ile otomotiv sanayiinde kopolimer olarak akümülatör gövdesi yapımında kullanılır. Sağlık hizmetleri için enjektörlerle birçok hastane araç gereçleri PP'den yapılır. Elektrik alanında kablo, ayakkabı sanayiinde topuk, ince ve kalın lif, halat, boru, levha ve köpük malzeme yapımında PP'den yararlanılır. Makina halılarında arka yüzeyde dokuyu sağlamlaştırmak için de amorf PP kullanılır[25].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMA KONUSUNDA GEÇMİŞİNİN DEĞERLİNDİRMESİ

3.1. Taguchi Yöntemi ile Üretim ve Tasarım Sürecinin Genel Parametrelerinin Optimizasyonu

Süreç parametrelerinin Optimizasyonu: Taguchi yöntemi kalıplanmış parçaların enjeksiyon ile üretiminden sonra oluşan eğilme problemleri üretim sürecini olumsuz etkilemektedir. Enjeksiyon kalıp parçalarının üretimi sırasında meydana gelen proses özelliklerini iyileştirmeye yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Reddy tarafından yapılan çalışmada Reddy ve diğerleri [26] hesaplama yazılımları, yapay sinir ağları ANN (artifical neural network) ve SVM (suport vector machıne) yöntemleri ile enjeksiyon kalıp parçalarında eğilmelerin tahmini üzerinde durulmuştur, kontrol parametreleri, Taguchi'nin ortogonal dizilerinden yararlanarak optimize edilmiştir. Bu parametrelerin optimizasyon yöntemi, mevcut çeşitli işlemlerin koşullarını dikkate alarak enjeksiyon kalıplanması konusunda çalışılmış yaygın bir yöntemdir. Reddy bu çalışmada, eğilmenin mutlak ve göreceli hata oranını tahmini konusunda ANN modeli ile SVM modelinin kabiliyet ve verimliliklerini karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda ANN modelinin, SVM modeline göre daha doğru bir sonuç ve tahmin kabiliyetine sahip olduğu gösterilmiştir.

Erzurumlu ve Özcelik [27] makalesinde, enjeksiyon kalıp yapılarının eğilmesini ve buna ek olarak termoplastik polimerlerin üretiminde gerçekleşen enjeksiyonların çökme indeksini en aza indirmek konusunda Taguchi optimizasyon yöntemi ile bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada Tonkari ve Baber, iç plastik eriyik akış (MPI) yazılımı tarafından sunulan varsayılan süreç parametrelerinin aralığından yararlanmıştır. İnceledikleri parametreler; kalıp sıcaklığı, erimiş polimerin sıcaklığı ve ambalaj basıncını içermektedir. Fakat bu çalışmanın asıl üzerinde durduğu nokta; çeşitli feder kesimleri ve feder sayfalandırma açısı gibi parametrelerdir. MPI ile yapı ve kalıplama koşullarını değerlendirmek için süreci kısaltmak ve daha ekonomik hale getirmek amacıyla test edilecek olan simülasyon sayısı Taguchi yöntemi kullanılarak düşürülmüştür. Optimize edilmiş sürecin parametreleri için doğruluk testi analiz edilmiş ve Taguchi optimizasyon yönteminin etkili olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmaların çoğunda, çok sayıda analiz yapmadan önce bileşenler tasarım parametrelerinin ön varsayımlar ile süreçi optimizasyon etmek için Taguchi yöntemi

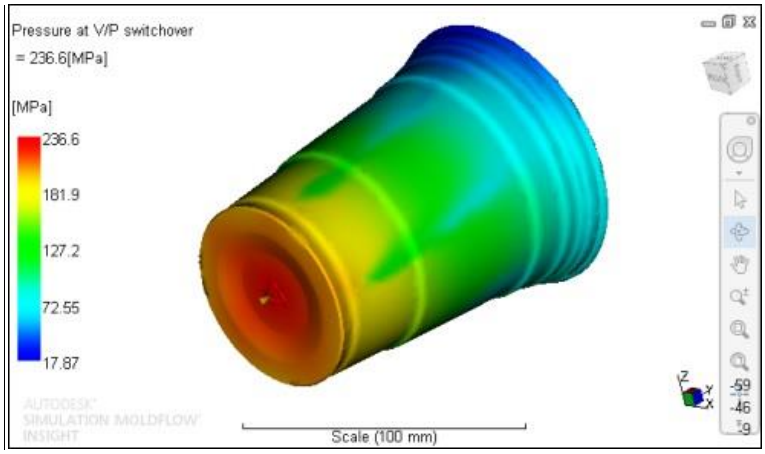
kullanılmaktadır. Bu yöntem sınır şartları kullanılarak işlem yapılan alanı daraltır ve sürecin optimize olmasına olanak sağlar. Ancak bu işlemin sadece belirli bir kısma göre yapıldığı ve en iyi sonuçlar dikkate alınarak çözümlendiği unutulmamalıdır. Bu da, problemin bütünü için geçerli olamayabileceği anlamına gelmektedir. Çünkü araştırmacı tarafından bir çok parametre kolayca göz ardı edilebilmektedir.

3.2. (CAE) Bilgisayar Yöntemi ve Diğer Sayısal Yöntemler ile Mühendislik

Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE), enjeksiyon kalıplama aletlerinin geri dönüşü olmayan ve üretim maliyeti yüksek olan tasarımların üretimi gerçekleşmeden önce tasarımı yapılıp, test edildikten sonra uygun görülmesi halinde gerçek üretime geçilmesi için tasarımcıya ve üreticiye yardımcı olmaktadır [28].

Buna rağmen, kullanıcıların tecrübelerine göre, bir çok deneme-yanılma ve tekrarlamalar ile simülasyonun yapılması, kabul edilebilir bir çözüme ulaşmak için çoğu zaman yeterli olabilir. MPI, Moldflow ve Ansys yazılımları gibi bir simülasyon yazılımı, özellikle karmaşık geometrili parçaların simüle edilebilmesi için kullanılmaktadır.

Melik Ziya Yakurt, 2014 [29] çalışmasında günlük hayatta sıklıkla kullanılan plastik bir bardağın baskı analizi bilgisayar destekli programla (Autodesk Moldflow) yapılmıştır. Analiz için bir bardak çizilmiştir. Enjeksiyon makinasının değerleri ve PoliStiren (PS) malzemeyle bardağın kalıp içerisindeki dolumu analiz edilmiştir. Analiz sonucunda tam dolum olup olmadığı, baskı süresi, sıcaklık, basınç ve yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, enjeksiyonla kalıplama işleminde parçanın düzgün üretilmesi, üretim zamanını ciddi anlamda düşürmekte ve hatalı ürün çıktısını da azaltmaktadır. Şekil 3.1'de belirlendiği gibi analizde enjeksiyon noktasının en uzağındaki bölgelerde yani bardağın ağız kısımlarında sıcaklık, basınç ve yoğunluk etkilerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden çarpılma ve deformasyon oluşumunun bu bölgelerde görülebilme olasılığı yüksek bulunmaktadır. Ürün çıktısı alınmadan önce başta soğutma sistemi olmak üzere eriyik malzemenin giriş sıcaklığı gibi parametreler dikkatle tekrar incelenmelidir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Ürünün üzerindeki basınç dağılımı

Deng, Zhang ve Lam [30] çalışmasında, enjeksiyon kalıp parçalarının eğilmesini en aza indirmek üzere kombinatoryal optimizasyon yöntemini kullanmışlar. Zhang ve arkadaşları, yapısal ve kalıplama sürecinin optimüm parametreleri için yaygın optimizasyon algoritması ile kombinatorial bir örnekleme yöntemi önermişler ve bu kombinatorial yöntemi inceleme altına almışlardır. Bu çalışmada, Kriging modelleme stratejisi, CAE hesaplama yazılımının yerine kullanılmıştır. Değişken enjeksiyon zamanı ile bir plastik gıda tepsisini kullanarak özel bir çalışma yapılmıştır. Ambalaj basıncı, erime sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı, bu çalışmanın tasarım değişkenleri olarak ele alınmıştır. İncelenen sistem açıkça şunu göstermektedir ki önerilen optimizasyon yöntemi, hesaplamalar ile etkili bir şekilde parçaların eğilmesini azaltma yeteneğine sahiptir.

Ayrıca Courbebaisse [31] çalışmasında, kalıplama sürecinin sayısal simülasyonunu ve ön modelleme kavramını değerlendirmişler. Araştırmacılar ön modelleme aletinin olmadığını fark etmişler. Optimizasyon bu makalede hızlı bir algoritma olarak kalıp içinde eriyik polimerin yayılmasının simülasyonu için ele alınmış ve bunu gerçekleştirmek için kalıbın doldurma sırasında enjeksiyon kontrollerinin yolluk kapılarının en iyi konumda bulunmaları gerekmektiği vurgulanmıştır.

3.3. Malzeme Dayanıklılığı ve Direnci ile Eğilme Karşısında Dayanıklılık Oranı Arasındaki İlişki

Özcelik ve Sonat [32] araştırmalarında, ince kabuk plastiğin eğilmesi ile ilgili yapısal bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Baber ve İbrahim süreçte bulunan analizleri gerçekleştirmeden önce parametrelerinin optimizasyon ve seçme süreci için kez Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma da, Cam elyafı ve PC/ABS ile takviye

edilmiş maddeler, PC, ABS veya PC/ABS gibi orjinal ve takviye edilmemiş maddelerin çoğundan çok daha az eğilmişlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada yazarlar, malzeme mukavemetini, eğilmeye karşı mukavemetle iliŞekilendirmektedirler. Çalışmaya göre yönlendirilmiş polimer liflerdeki gerilme direnci daha yüksek olan maddeler, Z ekseni yönünde daha az eğilmektedirler.

Başka çalışmalarında ise bu araştırmacılar parçanın sertliği ile eğilmeye karşı olan direnci arasındaki ilişki incelemiştir. Buna rağmen yapılan çalışmanın ilgilendiği esas nokta, farklı yolluk tasarımları ve oluşan eğilmelernin azalması için soğutucu tasarımları üzerinde olmuştur. Yapılan çalışmanın doğrulaması MPI simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu analiz aslında enjeksiyon kalıplama yapan şirketlerde kullanılmak üzere uygulanabilir ve kolayca üreticiler tarafından gerçekleştirilebilir olduğu da vurgulanmaktadır.

3.4. Parça Üzerinde Feder Konumunun Belli Edilmesi

Lam ve Santhikumar [33] yaptıkları çalışmada, bir yapının performansını artırmak amacıyla o yapıda bulunan federin tasarımını yeni bir yöntemle geliştirmiştir. Bu yöntem, genelde farklı kalınlıklarda olan sayfalarda çoğunlukla sayfa/kabuk yapıları için yaygın olan optimizasyon algoritmasında bulunan problemleri engellemektedir. İncelemeye alınan örnek bu yaklaşımdan yararlanılarak, deliği olan bir sayfada eğilme, bükülme gibi farklı yükler ile burulma ve eğilme yükleri kombinasionu sırasıyla uygulanır.

Yukarıda yazılan hususa ulaşmak için, iki aşamalı bir optimizasyon süreci gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, farklı kalınlıklarla optimize edilmiş bir sayfa elde etmek için optimizasyon sürecinde kalınlığı sabit olan sayfa üzerinde çalışılmıştır. Ardından yukarıdaki sonuçlardan federin potansiyel yerleri tespit edilmiş ve federler yerleştirildikten sonra tekrarlanan bu süreç, önceki aşamada feder potansiyel yerlerini tespit etmek üzere yeniden tekrarlanır ve ardından feder yerleşme yerleri arasındaki mesafeler kısıtlanır.

3.5. Federin Mekansal Konumunun Tespiti

1.Aşama

Bu aşamada feder yeri, ölçümünü dikkate almadan tespit edilmektedir. Bu husus, ilgili unsurların kalınlığını değiştirmekle elde edilebilir.Tek yönlü gerilim enerjisi elde edilir ve elemanların toplam hacimleri sabit tutulur. Federi kolayca tespit etmek için, unsurun üst sınır kalınlığı, elde edildiği orta kalınlıktan çok daha büyük olmalıdır. Bu işlemin aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Model üzerinde uygulanan statiğini yapısal analizi.
2. Unsurun gerinim enerji yoğunluğu ve gerinim enerji yoğunluğunun ortalama yapı için hesaplaması.
3. Yeni unsur kalınlığını hesaplamak için sertlik kriterinin belirlenmesi.
4. Eğer unsurun kalınlığı, önceden ayarlanmış maksimum ve minimum sınırlarının dışındaysa, unsur kalınlığını aşma miktarı sınırlanmıştır. Maksimum miktar, modelin ortalama kalınlığından çok daha büyük miktarda ayarlanmalıdır.
5. Toplam hacim sabit tutularak, modelin tekrar ölçeklendirilir.
6. Yukarıda yazılı tekrarlanan aşamalar, toplam gerilim enerjisi belirli bir miktarda yakınsak oluncaya kadar tekrarlanır.

2.Aşama

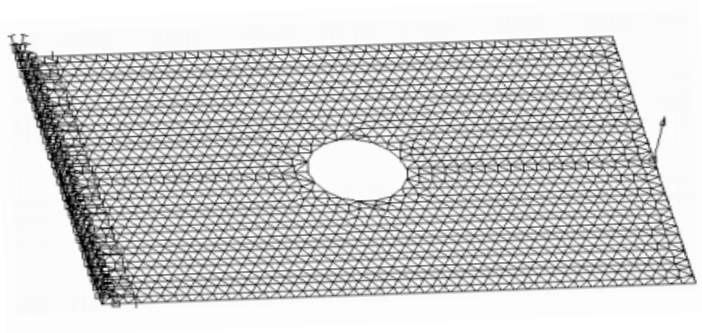
Aşamada bulunan çözümlerin incelemesi ile feder ölçümü (yükseklik,genişlik) ve iki feder arasındaki mesafe gibi ölçüler bu aşamada uygulanır. Bu işlemin aşamaları aşağıdaki gibidir:

1. Sayfanın nihai kalınlık dağılımı 1.aşamada değerlendirilmiştir. Belirlenen kalınlıktan daha yüksek kalınlık değerlerine sahip olan yer, potansiyel feder yeri olarak tanınmaktadır.
2. Önceden genişliği belirlenmiş ancak farklı yüksekliğe sahip bir federin tanımı, kalınlık dağılımına göre belirlenen yüksekliği aşmadan feder yerinde tanımlanmıştır.
3. Dolayısıyla bu yeni federi ilave ederek yeni bir model oluşturulur.

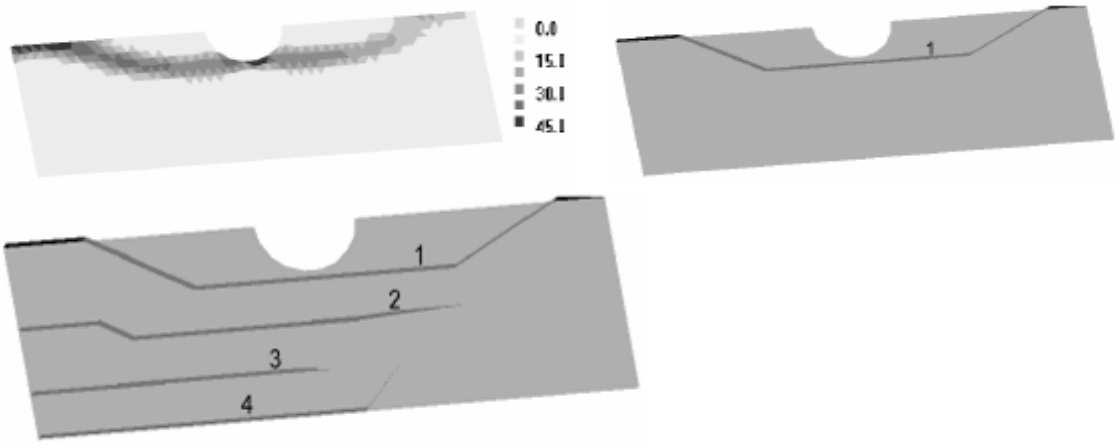
4. Yandaki federler arasında, mesafe kısıtlamaları uygulanır. Bu konuyla önceden ayarlanan mesafede federlerin kalınlığı başlangıç değerinden bir sonraki yinelemeye erişinceye kadar değiştirilmezdir (Şekil 3.2).

Çizelge 3.1. Feder sayısının parçanın eğilme üzerinde etkisi

	federlerin sayısı	eşdeğer parçanı kalınlığı	maksimum eğilme		maksimum eğilmenin azalması
			federlile	eşdeğer	
nokta Yüklem	0	4.00	13.56	13.56	0 %
	1	4.17	10.59	11.97	11.5 %
	2	4.30	8.50	10.92	22.2 %
	3	4.39	7.31	10.26	28.8 %
	4	4.51	6.44	9.47	32.0 %



a)

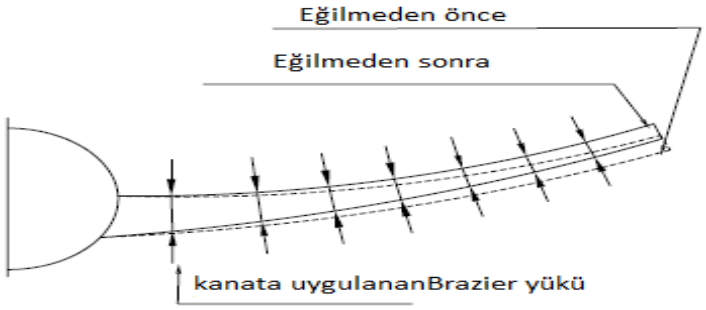


b)

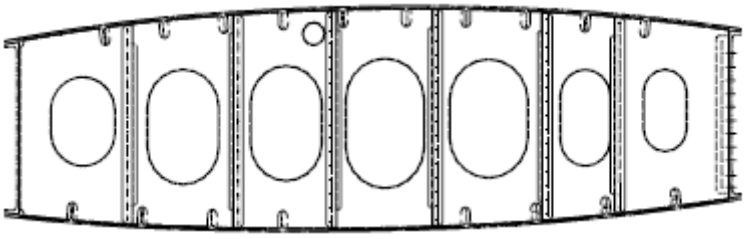
Şekil 3.2. a) 4 mm Parça modelleme .b) Feder'lerin parçada 4 aşamada optimize prosesinde konumuları

James, Krishna ve Kotresh [34] makalesinde; Interspar federlerine sahip olan kanatın brazir yükü karşısında davranışı sonlu eleman metoduyla incelenmiştir (Şekil 3.3). Bu makale çalışmasının amaçlarından biri de metal kanadı, kompozit kanata dönüştürmek ve nihai ağırlık kaybının maksimuma ulaşmasıdır (Şekil 3.4). Bu işlem, mümkün olduğu her

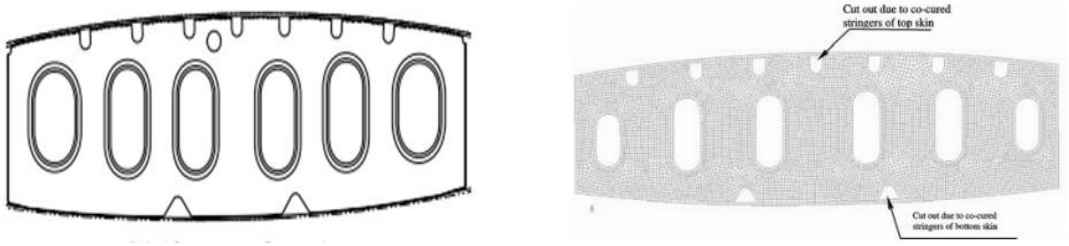
yerde kanat yapısını oluşturan elemanların kaldırılmasıyla gerçekleşmektedir. Bu çalışma federin lineer (doğrusal) burkulma Analizli brazier yüke karşı kısıtlanmıştır. Federin içindeki deliklerin etrafında kıvrılmalarla ve dikey köşebentlerinin ortadan kaldırılmasıyla daha sağlam bir feder yapısı elde edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.3. Kanata uygulanan brazier yükü



Şekil 3.4. Yenilemeden önce feder'n şematik şekli



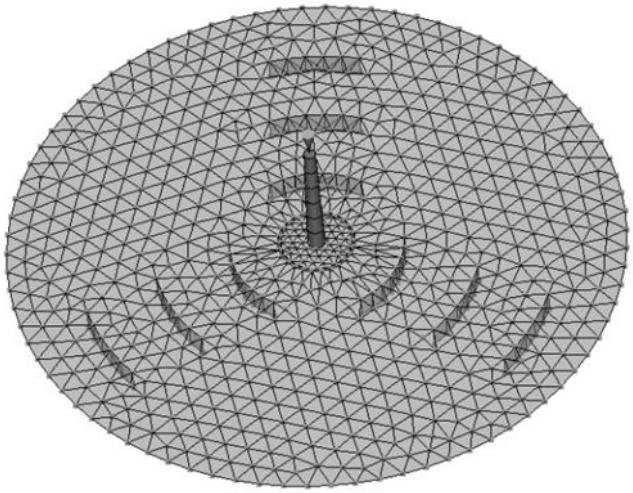
a) b)

Şekil 3.5. a) Havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kompozit kanatlı feder'lerin şematik şekli, b) Kanatin sonlu elemanda yazılımında meshlenmiş şekli

Bu makalede Mathivanan ve diğerleri [35] Taguchi yöntemi ile yapı çöküşü ve çökmenin belirtileri üzerindeki enjeksiyon kalıplama değişkenlerinin etkisini incelenmesi için basit ve verimli bir çözüm uygulanmıştır. Taguchi yaklaşımını kullanmak, Parametrenin optimize ayarlamalarını elde etmeğie yardımcı olumaktadır. doğrulama testlere dayanıklı olan çökmnin derinliği,Taguchi yönteminde öngörülen çökme derinliğile karşılaştırdıktan sonra uyumlu oldukları belli olmuştur. Bu yöntemin farklı şekiller ve işlem

değişkenlerinde çökme derinliğinin tahmin etmesinde doğru olduğu görünmektedir (Şekil 3.6).

Federin besleme noktasından mesafesi çökme üzerinde en etkili değişkendir. fedr'in besleme noktasından uzaklaşması, daha derin çölme üretimine sebep olduğu görülmüştür. Buda alternatif tasarım yada alternatifler için düzeltici ve etkileyici çözümler sunulması için ürün tasarımcılara önemli bir giriş olabilir. Bu yöntem ayrıca Parçaların tasarımlarında kullanılabilir. Bu çalışmalar çökme ve yapı çökmesinin işaretler ve belirtileri hakkında olsa da, diğer eksiklikler ve ayrıca yapının genel kalitesinin iyileştirilmesi için genişletilebilir.



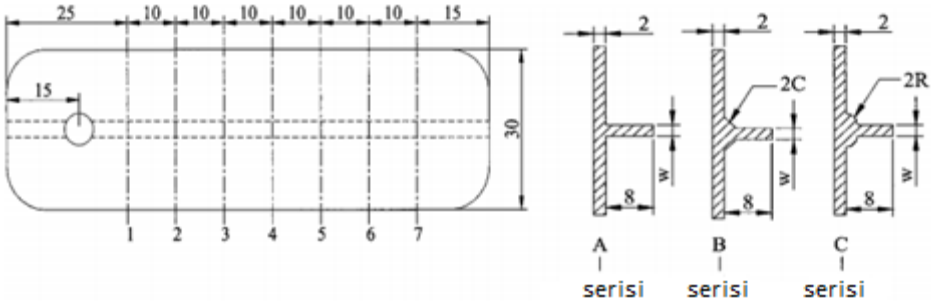
Şekil 3.6. Sonlu eleman yazılımında parçanın meshlenmiş biçimi

3.6. Mekanik Yapılarda federin farklı Parametrelerinin Etkisi

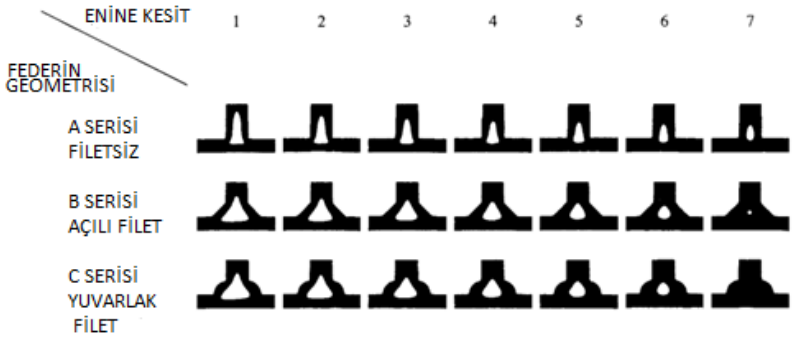
Yang, Lin ve Chang [36] çalışmasında, gaz enjeksiyon sürecinin verimliliğini artmasında yapısal federlerin etkisi incelemiştir (Şekil 3.7). GAIM parçada çökelme sonucu çarpılmanın önlemesine rağmen yardımcı gaz nüfuzu ile gaz enjeksiyonu neticesinde ve dolum sırasında oluşan büyük boşluklardan dolayı, dayanıklığın tahribi ve zayıflamasına sebep olduğunu saptamışlardır. Bunu engellemek için, yardımcı gaz ile dolmayı önlemek amacıyla enjekte edilen gaz ağırlığını %100 artırmışlardır (Şekil 3.8).

Dolayısıyla boşluk tamamen dolduktan sonra gaz enjekte edilmiştir. ‘’Shuting ve Tam Gaz Enjeksiyonu ile enjeksiyon kalıplama’’ süreci ve GAIM bu çalışmada incelenmiştir. Gazın nüfuz davranışı üzerinde işlenme koşulları ve feder geometrisinin etkisi, sistematik olarak

incelenmiştir. İnceleme sonucunda, geniş federler ve fileli federler gazın nüfuz uzunluğunun azalmasına sebep olmaktadır. Öte yandan, feder genişliğinin artması ve file eklenmesi, ikincil nüfuz uzunluğunun azalmasına sebep olur. GAIM süreci için tek yönlü ve ince feder, uzun gaz nüfuz uzunluğuna ulaşmak için kullanılabilmektedir. Aşağıdaki resimlerde bu federlerin konumu ve genel görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Gaz enjeksiyon sürecinde filletli veya filetsiz feder'lerin yerleşim şeklinin diyagramı (A serisi filetsiz feder B serisi 45 filetli federler C serisi uyvarkak filetli federler



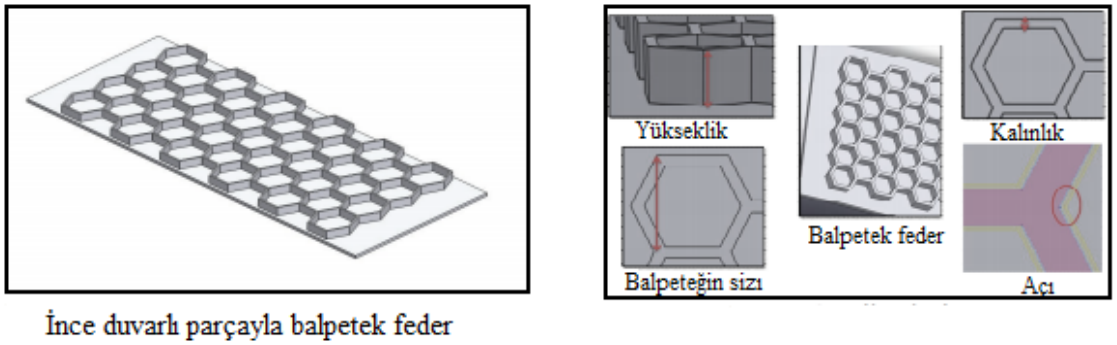
Şekil 3.8. Federin kullanmanın optimizasyon süreci için seçilmiş federt geometrilerden yan görünüş ve kesim şekli

3.7. Federin Parça Dayanıklılığını Artırmada Etkisi

2014 senesinde Manaf, Mohd Zawawi ve Adly [37] yaptıkları çalışmasında, plastik yapılara dayanım kazandırılması üzerinde federlerin özel bir türünün eklenmesinin etkisini irdelemiştir. Beklendiği üzere ince cidarlı plastik parçalar, enjeksiyondan sonra eğilme yöneliminde bulunmuşlardır. Eğilmeye, federin yapısal özellikleri ile karşılık verilebildiği bilinmektedir. Bu çalışmada yapının eğilmesini kısmen önlemek için dikey ve normal federler yerine petek tarzı bir feder tasarlanmış ve analiz edilmiştir (Şekil 3.9). Problem için tanımlanan parametreler; federler yüksekliği, feder kalınlığı ve petek ölçülerini kapsamaktadır. Sonlu eleman Yöntemi (FEA) ile her petek feder tasarımı için simülasyon, Autodesk yazılımı ve Moldflow ile gerçekleştirilmiştir. Minumum seviyede eğilmeye

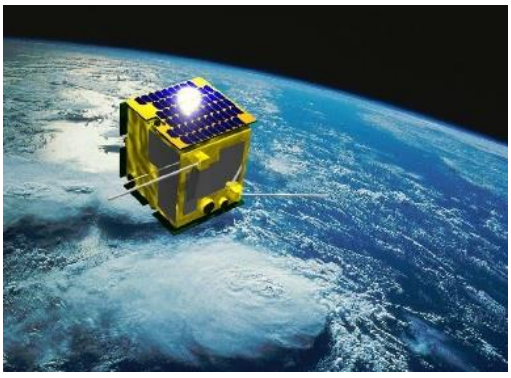
sebep olan kısımlar analiz edilmiştir ve eğilme oranı nispeten orta seviyelerdede olan kısım, kalıbın gerçek ürününü elde etmek için kullanılmış ve yapıda meydana gelen eğilme büyüklüğü ölçülmüştür. Dolayısıyla, petek feder yapıları en iyi tasarım parametreleri olarak saptanmıştır.

Testlerin sonucu; petek federlerinin parametreleri ile duvarın ince plastik parçalarının eğilmesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Yükseklik ve kalınlığın artmasıyla eğilmenin (warping) arttığı ve federlerin yükseklik ve kalınlığının artmasıyla eğilmenin azaldığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlarla, uygun feder ölçümünün belirlenebileceği düşünülmektedir.



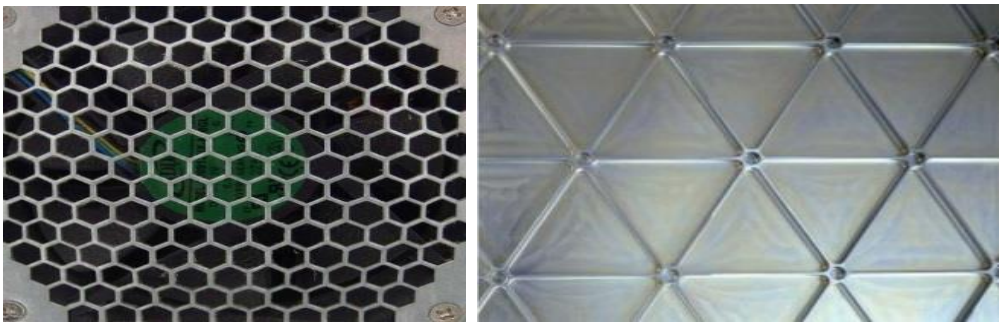
Şekil 3.9. Petek şeklinde feder'lerin tasarımıda önemli olan parametreler

Bu çalışmada [38] daha iyi özelliklere sahip olan mekanik tasarıma dayalı eşkenar dörtgen federi tanıtılmaktadır. Bu yapı uydunun ferekans özelliğini değiştirmeden (Şekil 3.12), büyük ölçüde roket kaplamanın titreşim düzensizliğini karşısında dayanaklılığını artırmaktadır. ChubuSat uydularındada uydunun özeliğiyle sertliği azalmadan ağırlığın düşürülmesi gerekmektedir (Şekil 3.10).



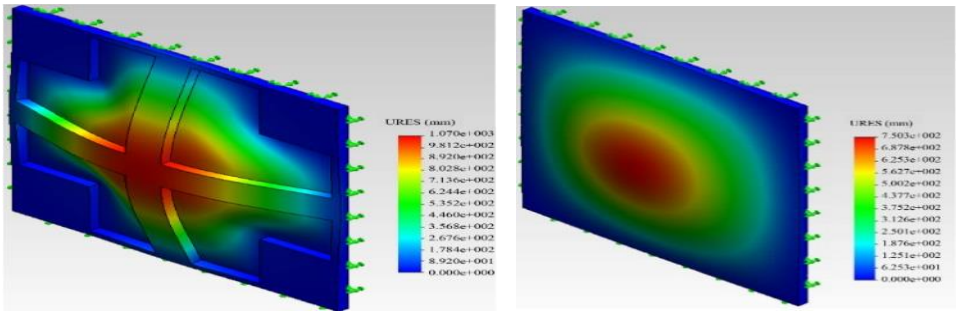
Şekil 3.10. ChubuSat uydusu

Petek ve şebeke federleri parçanın dayanımının artmasının etkili oldukları önceki çalışmalarda öne çıkmıştır (Şekil 3.11).

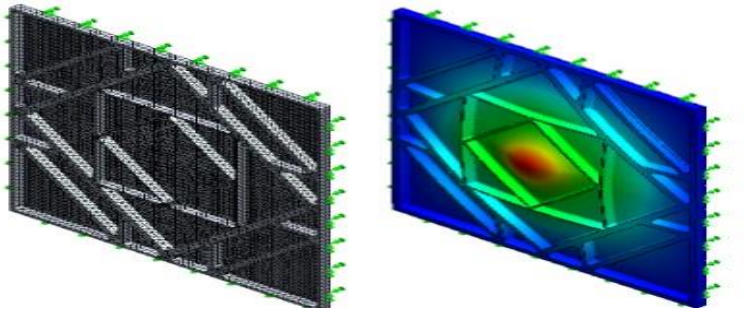


a) b)

Şekil 3.11. a) Balpeteği şeklindeki feder yapısı, b) Üçgen ızgara (grid) şeklindeki ferder yapısı



Şekil 3.12. Dayanımı artamasıyla uydunun ferekans özelliğini düşüren federin yapısı



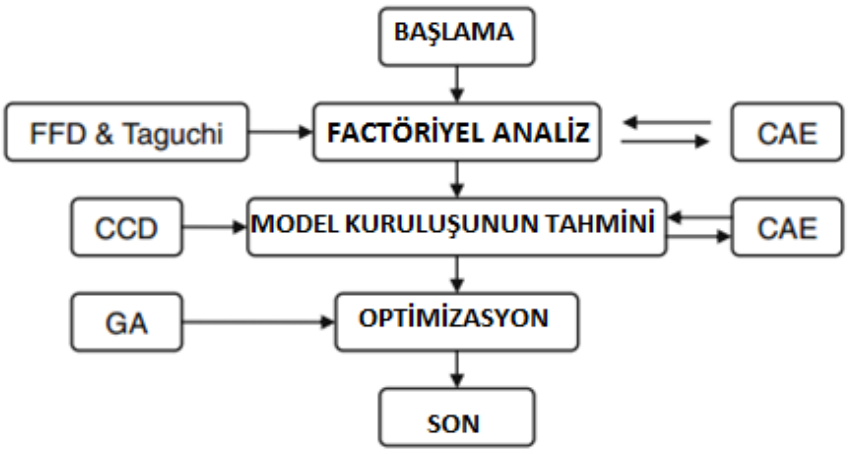
a) b)

Şekil 3.13. a) Eşkenar dörtgen sonlu eleman yazılımında meshlenmiş, b) uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme

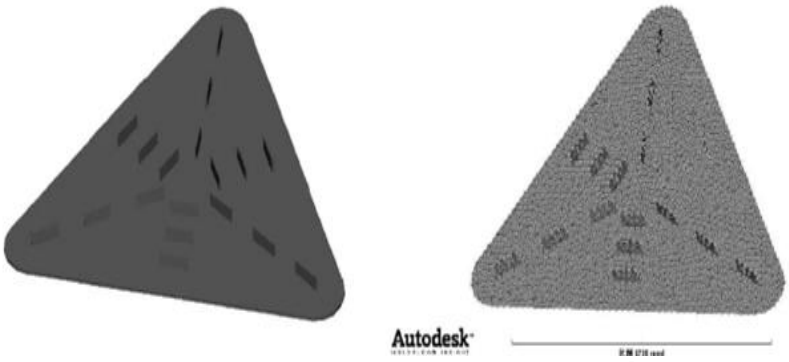
Eşkenar dikdörtgende federli tabaka düz tabakaya sahip olan uydula karşılaştırdığında hacimi %25 azaltmaktadır. Ayrıca doğal frekansların miktarı optimize edilmiş sayfalarıda orjinal tasarıma göre yaklaşık aynı kalmıştır(Şekil 3.13).

3.8. Federlerin Yapısının Optimizasiyonu İçin Önceki Çalışmalar

Guo, Hua ve Mao [39] çalışmasında, plastik enjeksiyon kalıplamada gerçekleşen feder arkasındaki çökme noktalarını en aza indirmek için bir araştırma yapmıştır. Feder yapısı, enjeksiyon ve işlenmede kullanılan parametrelere göre teorik analizler için bir model oluşturulmuştur (Şekil 3.14). Aynı zamanda, akışın sonlu elemanlar analizi test tasarımları (DOE) ve Genetik Algoritması (GA) ile tek parça olmuştur. Çökme noktalarının derinlik miktarı, tasarım değişkenleri ve teknolojik parametrelere bağlıdır. Dört önemli ve etkili değişken yani feder kalınlığı, kalıp sıcaklığı, erime noktası ve soğutucu sıvı sıcaklığı optimizasyon için seçilmişler. Çökme noktalarının derinlik miktarı ile bahsi geçen değişkenler arasındaki matematiksel ilişki FE sonlu elemanlar metodu uygulaması ile gerçekleşmiştir (Şekil 3.15). Adı geçen değişkenlerden farklı birleşimlerin analizi, merkezi birleşik tasarım (CCD) yöntemi ile gerçekleşmiştir (CCN) ve en önemli deneysel tasarımlardan birisidir. Ayrıca çökme noktaları ve yapı çöküşünde meydana gelen her değişkende her bir faktör ve etkileşim etkisi incelenmiştir. Çökme noktaları için ön görülen model, etkili olarak Genetik Algoritması GA ile çökme derinliğini en aza indirmek için değişkenlerin optimizasyonu üzerinde durulur. Analizlerin sonuçları göstermektedir ki önerilen yöntem, etkili bir şekilde çökme belirtilerinin derinliğini ve yapı çökmesini en aza indirmekte ve parametrelerin optimizasyonunun tasarımında kullanılmaktadır. Sonunda bu çalışmada, belirli yapısal özellikleri olan bir geometrik feder modeli, çökme belirtileri üzerinde teknik özellikler ve uygulanabilir parametrelerin etkisini araştırmak için oluşturulmuştur. Sonuçlara göre plastik parçadaki federde; ince kalınlıklarda, düşük erime ve soğutucu sıcaklığında daha az çökme görülmüştür (Şekil 3.16).

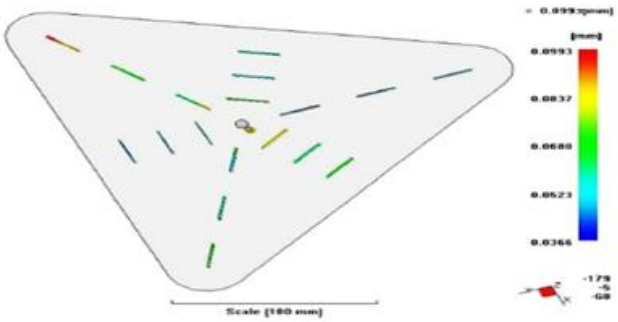


Şekil 3.14. Araştırma sürecinin genel şeması



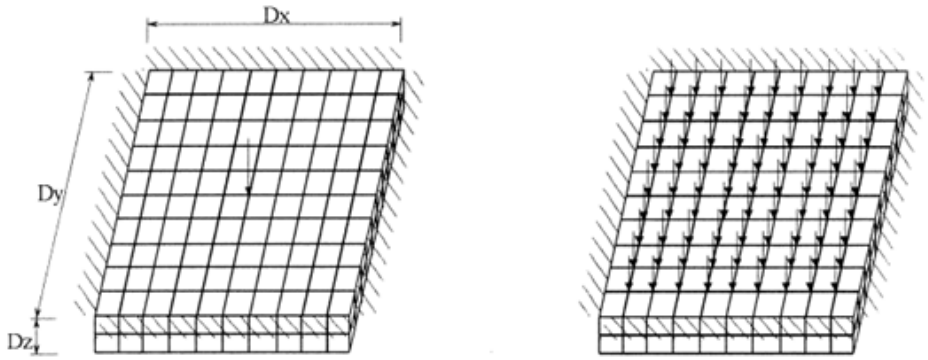
a) b)

Şekil 3.15. a) Otodesk yazılımında parçanın geometri, b) sonlu elemanlar modeli



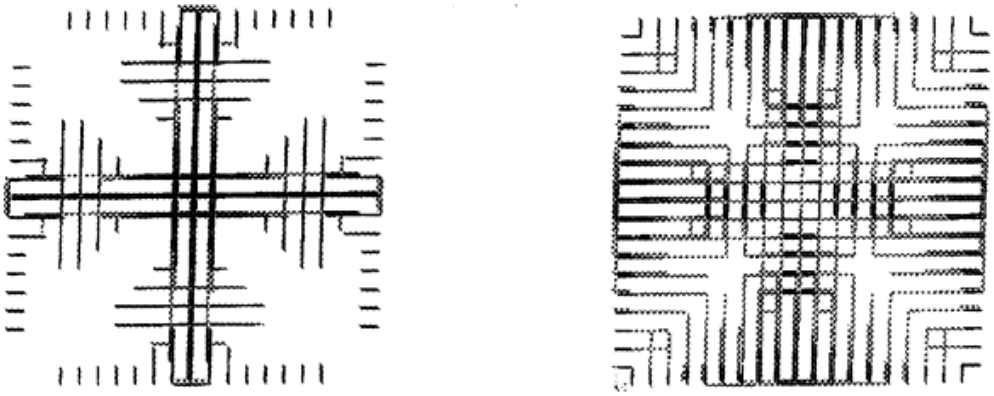
Şekil 3.16. Parçanın çökme derinliği

Oysa Chung ve Lee [40] yaptıkları çalışmalarındaki amaçları, topoloji optimizasyon yönteminden yararlanarak feder optimizasyonunun problemi ve federin en doğru konumu için nihai yapının sertliğinin artırılmasına yönelik olmuştur. Bu yöntemde oluşan ilk federin yapısı, çok sayıda kabuk eleman unsurları içinde (discrete shell elements) mevcut genel yapıya eklenip, optimizasyon yönteminin her unsur için yoğunluk belirlemesi ile sistemin tamamı için uygulamasını içerir (Şekil 3.17). Ardından daha yüksek yoğunluğa sahip kalan kabuk unsurları (Eleman) hesaplanıp, bir optimizasyon yöntemi ile nihai yapıya bağlanıp, feder yapısının dönüşümünü gerçekleştirirler. Bu optimizasyon yöntemi, feder tasarımını, yapının optimize edilmiş kalınlık dağılımı ile oluşturmaya çalışan diğer yöntemlerden daha farklı performans göstermektedir (Şekil 3.18). Aşağıdaki resimde aranjman şekli ve bu optimizasyon yöntemi ile esas yapının dayanıklığını artırmak için feder kalınlıkları görülmektedir.



a) b)

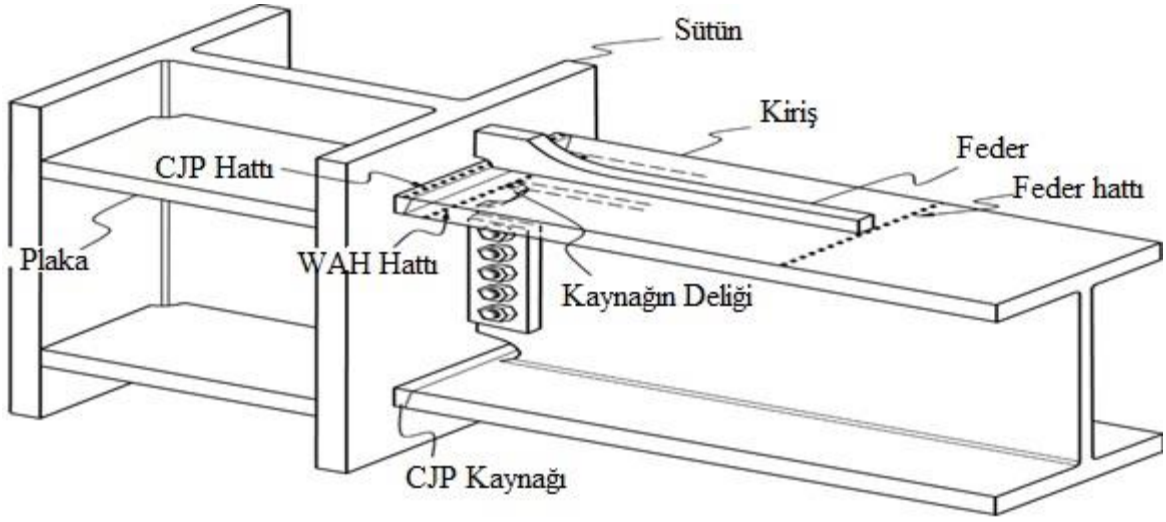
Şekil 3.17. Levhada optimizeden önce yerleştirilen federler, a) Yapı ortasında odaklı yük uygulandığında feder tasarımı, b)Yaygın yük uygulandığında feder tasarımı



Şekil 3.18. Levha ve ilgili feder'lerin optimize özellikleri, a) Yapı ortasında odaklı yük uygulandığında feder tasarımı, b)Yaygın yük uygulandığında feder tasarımı

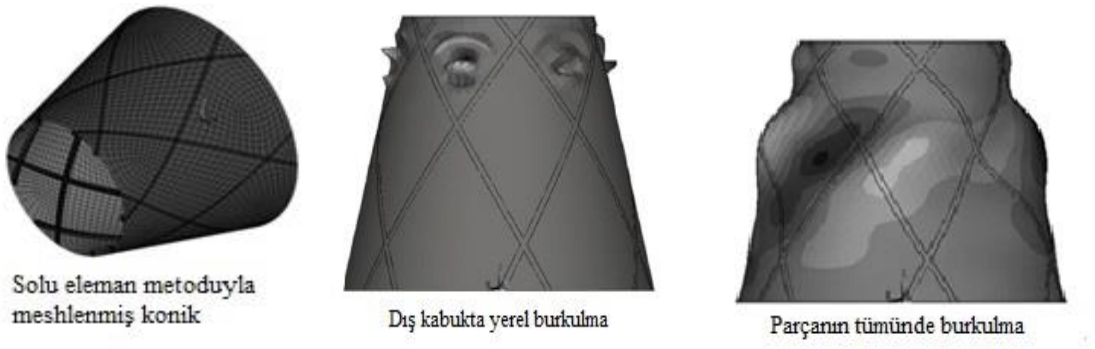
Cheng-Chih Chen ve diğerleri [41] çalışmalarında federin etkisini parçanın mukavimetinin artmasında araştırmışlar (Şekil 3.19). Moment-direnmek çerçevesinde kullanılan momente bağlı Sismik davranış dik federin eklenmesi ile iyileştirmekterdir. Bu parametrik çalışmada feder parametrelerinin tasarım etkileri bağlantı davranışın üzerinde incelenmiştir. Uzantiyla karakterize olan feder için üç geometrik parametre kurulmuştur. Ayrıca sonlu eleman metodu da parametrik analiz için kullanılmıştır.

Bu parametreler çeşitli kombinasyonlar için sunulmuş ve karşılaştırılmıştır. Saysal sonuçlara göre uzatılmış feder güçlendirilmemiş bağlantılarda, kirişde kaynağın flanş oluk ve kaynağa erişim delik bölgesinde bulunan gerilme konsantrasyonu ve gerinimleri kaldırabilmektedir. Ayrıca feder bağlantıda oluşan gevrek kırılganların olasılığını azaltabilmektedir. Bu çalışmada saysal sonuçlar, deneyleri onaylamaktadır. Sonunda feder tasarımında değişkenlerle tasarım prosedürü için tavsiyede bulunmaktadir.



Şekil 3.19. Kritik bölgede kullanılan feder

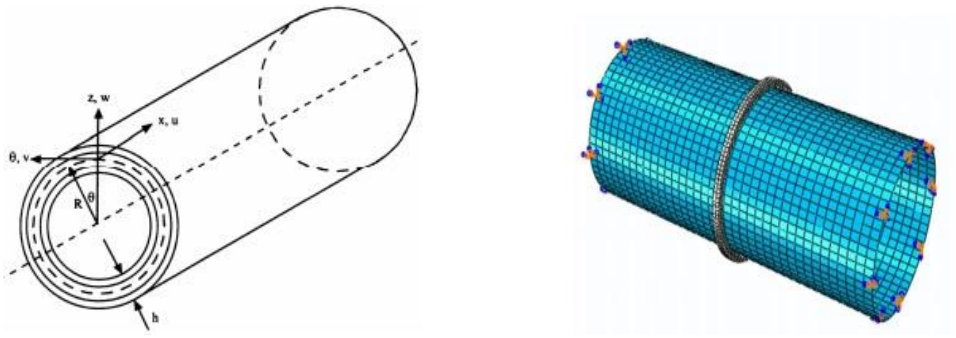
Mohammad Amin Ghasemi ve diğerleri [42] çalışmalarında eksenel yük altında güçlendirilmiş kompozit kabuklu hücreli koniğin burkulma davranışını incelemişler. Bu amaç doğrultusunda, eşdeğer tahmini-analitik modelleme ve sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Şekil 3.20'de görüldüğü gibi, dış kabukta lif parametrelerinin açısı, helezoni federlerin açısı, federlerin sayısı ve koniğin tepe açısının burkulma yükün üzerinde etkileri incelenmiştir. Tahmini-analitik yöntemde, güçlendiriciler sertlikleri eşdeğer olan bir kabuğuyla değiştirilmiştir. Bu duruma göre eşdeğer çekme sertliği, kuplaj ve bükme matrisleri güçlendiriciler için hesaplanmıştır. Sonunda Ritez metodunu kullanarak onların burkulma yükü hesaplanmıştır. Sonlu eleman metodunda konik kabuğunun moddelleme ve analizi Ansys yazılımında yapılmıştır. Sonlu eleman yönteminde, bu yapılarda iki tür burkulma modü görülmektedir. Elde ettiği sonuçlara göre helezon federlerin açısı 30^o ve liflerin açısı 70^o ile 80^o arasında olduğunda optimüm yapı tasarımı belirlenmiştir. Ayrıca sekiz çift helezon feder varolduğunda yapı özel burkulma yük açısından optimüm durumda olduğu tespit edilmiştir. Konik kabuğun tepe açısı azaldıkça ve silindir kabuğa yaklaşırken burkulma yükü artmaktadır. Yani Konik kabuğuyla silindir kabuğu karşılaştıdığında konik kabuğun dayanıklığının az olduğu belirlenmiştir.



a) b) c)

Şekil 3.20. a) Koniğin sonlu elemanda modellenmesi, b)Dış kabukta yerel burkulma, c). Parçanın tumünde burkulma

H. Salimi ve diğerleri [43] çalışmalarında çevresel feder ile güçlendirilmiş kompozitli silindir kabuğun serbest titreşimlerin analitik yöntem ve sonlu eleman metoduyla araştırmışlar (Şekil 3.21). İlk başta klasik teoride denge denklemleri sunulmuştur. Sonraki adımda yapının sertlik matrisi, kütle ve ferekans denklemi yazılmış ve Galerkin saysal yöntem ile denklemler çözülmüştür. Güçlendirilmiş kampozit silindirin analizi S-C ve C-C sınır koşullarında yapıldıktan sonra saysal ve analitik sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre federler doğal ferekansların artması veya azalmasına sebep olmaktadır. Çevresel feder silindirde enine sertliğin artması enine bükme frekansın artmasına neden olmaktadır. Çevresel feder boyuna sertliğe etkili olmamış ancak onların kütleleri, boyuna bükme modünü azaltmaktadır.

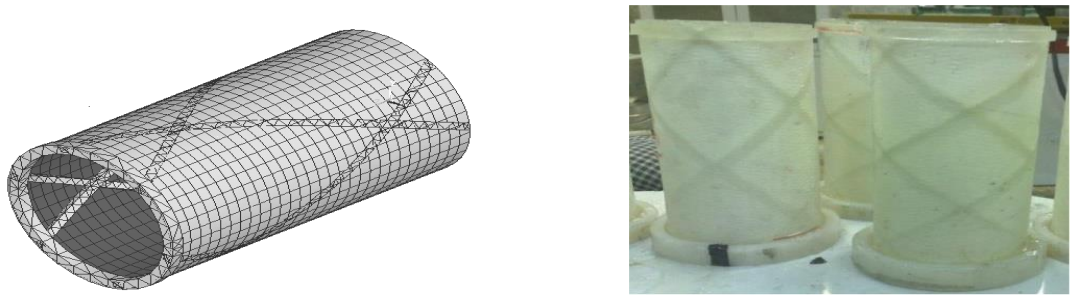


a) b)

Şekil 3.21. a) Analitik yöntem ile silindirin modellemesi, b) Federli silindirin sonlu eleman metodunda Modellenmesi

Hücreli kompozit yapılar dayanıklık-ağırlık oranı yüksek olduğu için yaygın şekilde havacılık-uzay sanayesinde kulanılmaktadır. Takviye edici federeler bu yapıların temel özellikleri olarak belirlenmiştir. Bu yüzden, Yapının dayanıklık-ağırlık oranı tasarım kıriteri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada latifi.rostami ve arkadaşları [44]

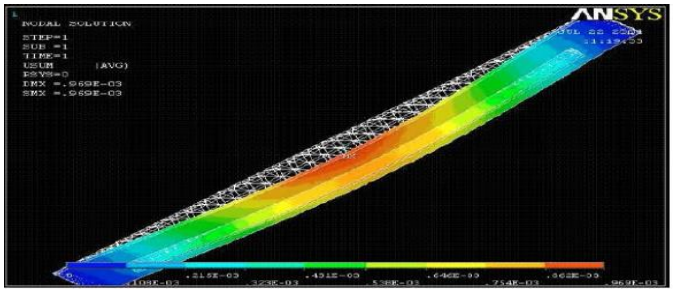
malzemenin fiziksel özellikleri, kabuk kalınlığı, federin açı, kalınlık ve sayısınıın etkisini gerilme alanında ve burkulma yükün dağılımı üzerinde incelmişler. Değişiklikleri araştırmak için, yapının azalizi sonlu eleman metoduyla Ansys yazılımında yapılmıştır (Şekil 3.22). Elde edilidiği sonuçlar deneysel testlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre dış kabuğun kalınlığının artmasıyla yapının dayanıklığı %50 artmaktadır. Federin açısının azalmasıyla yapının dayanıklığı %35 artmaktadır. Uygulandığı yük eksenel olduğu için federlerin açısı eksenel yöne yaklaştıkça yapının dayanıklığı artmaktadır, ancak federlerin açısı aşırı azalırsa yıkıcı burkulma modülü oluşmaktadır. Federlerin kalınlığının artmasıyla yapının ağırlığı artmaktadır dolasıyla ağırlığın artması, burkulma yükünün artmasının üstünde olmaktadır. Ayrıca yapının dayanıklığını olumsuz etkilemiş ve esnekliğinide azalmaktadır. Federin sayısının artmasıyla yapının burkulma dayanıklığı %15 artmaktadır. Federlerin artmasıyla ağırlık artmaktadır ancak, yapının burkılmaya karşı dayanıklığı, ağırlığının artmasının üstünde olduğu belirlenmiştir. Kabuğun kalınlığının artması diğer parametrelere göre yapını özelliklerini daha çok etkilemektedir.



a) b)

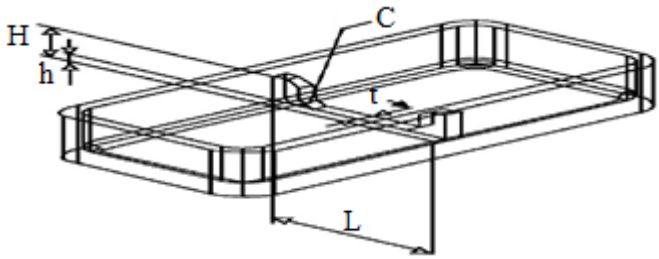
Şekil 3.22. a) Federile donatılmış silindirin sonlu eleman metoduyla modellenmesi, b) Deneysel testler

Tian-syung ve arkadaşları [45] çalışmalarında arkadan noktasal yük uygulandığında dikdörtgen federin farklı parametrelerin plastik parçanın deformasyon üzerinde etkisi incelemişler. Taguchi yöntemini kullanarak parametrelerin optimazisyonu yapılarak elde ettiği federlerin analizi Ansys yazılımında sonlu eleman metoduyla yapılmıştır. İlk başta Şekil 3.23'de görüldüğü gibi kiriş üzerinde 150 N noktasal yükün uygulaması Ansys'da similasyon yapılmış ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre yazılımıyla deneysel arasında federsiz kiriş'de %95 ve federli parçada %93 uyum sağlamaktadır.



Şekil 3.23. Parçanın 150 N merkezi yükte deformasyonu

Bu çalışmada dört parametreden oluşan dikdörtgen feder Taguchi metoduyla optimize edildikten sonra arka kısmın ortasında noktasal 150 N yük uygulandığında Ansys yazılımında incelenmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Parça ve federin geometresi

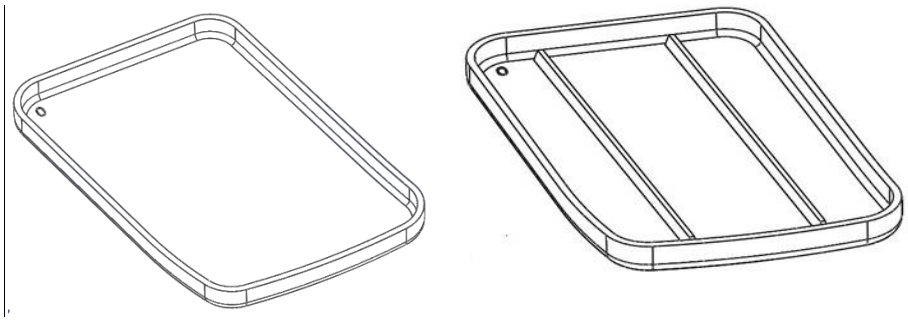
A Kontrol faktörü = H- Federin uzun yüksekliği
B Kontrol faktörü = h- Federin kıssa yüksekliği
C Kontrol faktörü = t - Federin kalınlığı
D Kontrol faktörü = c- Federin açısı

Burada A, B, C ve D kontrol faktörleri deneysel faktörler olarak belirlenmiştir. Sırasıyla B ve A faktörleri plastik parçanın deformasyonuun üzerinde en etkin faktörlardır. C faktörleri plastik parçanın deformasyonunu etkileyen faktör olup deformasyon üzerinde etkileri yükseklik faktörlerine göre daha az olduğu tespit edilmiştir. D faktörü Feder açısını belirleyen, plastik parçanın kalıptan çıkarılmasında ve federin kalıp yüzeyine sürtünmesini azaltmasında önemli bir parametredir.

4. MATERYAL METOD

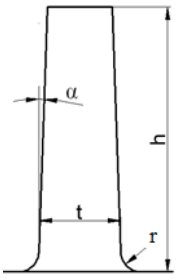
4.1. Plastik Parça Modeli

Plastik parçanın uzunluğu 109,24 mm, genişliği 90,51 mm ve federler arasındaki mesafe 30,4 mm'de bulunmaktadır. 2 mm et kalınlığına sahip dikdörtgen prizması şeklinde Solidworks ortamında tasarlanmıştır. Plastik parka ilk önce federsiz tasarlanmış olup feder ve feder parametreleri parametric olarak tanımlanmıştır. Tasarımı tamamlanan plastik parça Parasolid formatında kaydederek analiz için Ansys yazılımına aktarılmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen plastik parça ve pametreleri Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Plastik parçanın federsiz ve federli modeli

Parça solidwork yazılımında çizilmiştir. Dört feder parametreleri aşağıda belirlenen boyutlarda bulunmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Feder paraemtreleri

Plastik parçada özellikle köşelerde gerilme birikmesinin azaltılması için 1,5 mm yarıçap değeri verilerek köşelere yuvarlatma gerçekleştirilmiştir. Federlelerin parça yan yüzeyleri ile birleştiği bölgede gerilim birilkmesi olduğunda dolayı parça yüzeyi ile temas kesilecek şekilde 30 º'lik açı verilmiştir (Çizelge 4.1).

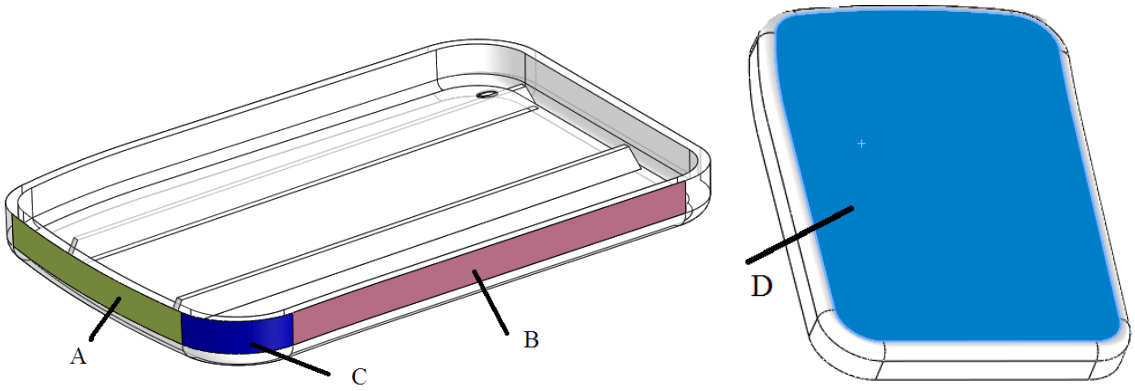
Çizelge 4.1. Plastik parçayla federlerin sabit geometresi

Plastik parça uzunluğu (y), mm	109,24
Plastik parça genişliği (x), mm	90,51
Federler arasındaki mesafe, mm	30,4
Parçanın et kalınlığı, mm	2
Federlerin uzunluğu, mm	101,98

Çizelge 4.2. Alternatif olarak kullanılan feder parametreleri

Parametre	Sembolü	Değerler				
		1	2	3	4	5
Feder yüksekliği, mm	h	2	3	4,5	6,75	10,25
Feder kalınlığı, mm	t	0,4	0,6	0,9	1,35	2,025
Feder dip yarıçapı, mm	r	0,001	0,2	0,4	0,8	1,6
Feder açısı, derece (^{o})	α	0,5	1	2		

Plastik parça federsiz ve federli olmak üzere iki şekilde tasarlanmıştır. Feder elemanının eklendiği durumda ise feder parametrelernin çeşitli kombinasyonları sonucu toplamda 345 farklı plastik parça tasarlanmıştır (Çizelge 4.2) . Bunların yanında feder parametrelerinin bazıları ile feder oluştturulamamış olduğunda federin ilgili parametresi kapsam dışı tutulmuştur.



Şekil 4.3. Plastik parça üzerinde basınç uygulanacak yüzeyler

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi basınç uygulanan yüzeyler harf il etanımlanmıştır. Bunlar; A: Ön yüzey, B: Kenar, C: Köşe ve D: Arka yüzey olarak tanımlanmıştır.

4.2. Plastik Malzeme

Federlerin plastik parça mukavetine etkilerinin incelenebilmesi için Ansys yazılımında malzeme tanımlanması gerekmektedir. Bu tez kapsamında yapılan analizlerde plastik

malzemesi olarak polipropilen malzemesi (Moplen HP548R) kullanılmıştır. Polipropilenin üretici firma tarafından verilen fiziksel özellikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Polipropilenin özelikleri [47]

Parametre	Sembolu	Birim	Değeri
Yoğunluk	ρ	g/cm³	0,905
Ergiyik Akış İndeksi	MFI	cm^3/10 dk	31
Elastite modülü	E	Mpa	1650
Akma mukavemeti	σ	MPa	35
Kopmadaki uzama	ε	%	50
Termal yumuşama sıcaklığı	T_y	^oC	154

4.3. Ansys Yazılımında Kullanılan Parametreler

Plastik parçaların feder yapılarının mekanik mukavemetlere etkisinin incelenmesi için mekanik analizler Ansys yazılımında gerçekleştirilmiştir. Ansys'de malzme tanımlaması için kullanılan parametreler:

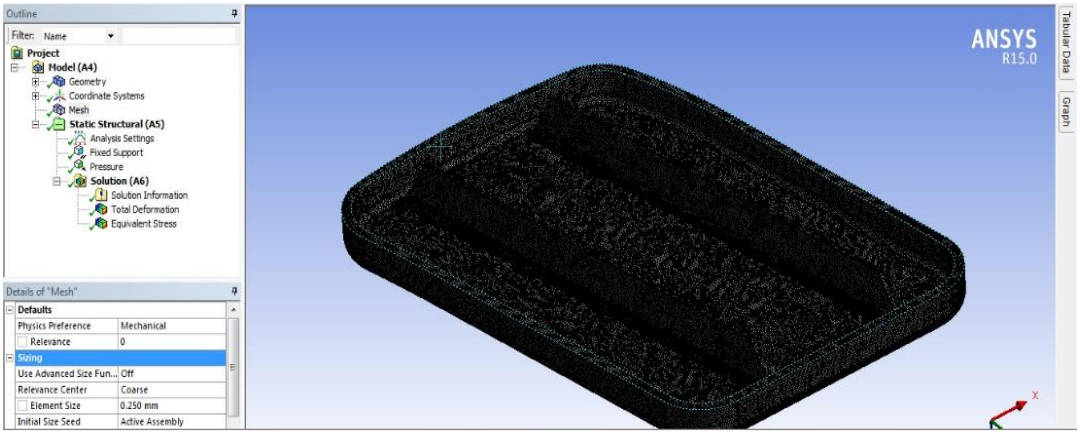
Çizelge 4.4. Ansys yazılımında ömalzeme tanımlamasında kullanılan giriş parametreleri

Parametre	Değeri
Akma dayanımı	35 MPa
Elastikiyet modülü	1650 Mpa
Poisson oranı	0,3
Yoğunluk	0,905 g/cm³

4.3.1. Ansys parametreleri ve tanımlamalar

Parçanın meshlenmesi

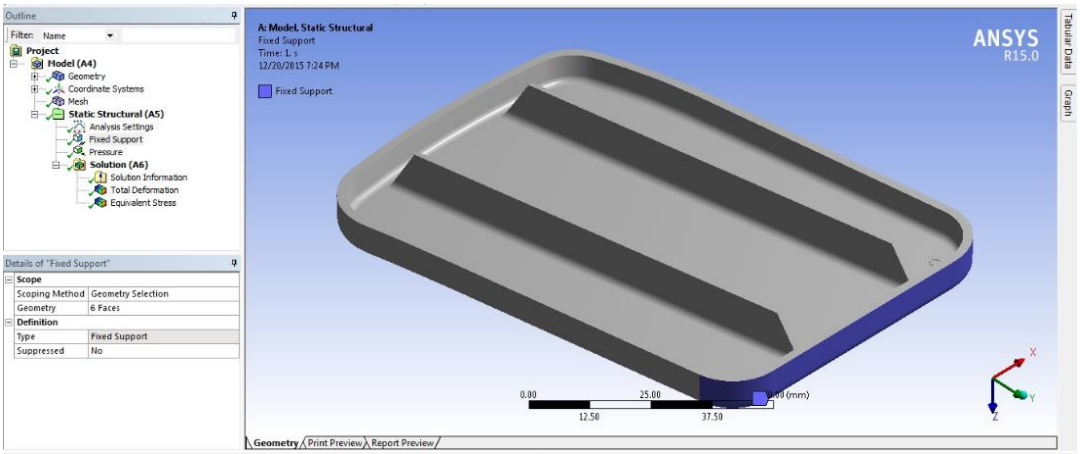
Plastik parçanın sonlu elemanlar ile analizinin yapılabilmesi için öncelikli olarak CAD ortamından Ansys ortamına import edilmesi gerekmektedir. Bu işlemden sonar yeterli büyüklük tanımlaması yapılarak sonlu sayıda alt bölgelere ayırm aişlemi olan "mesh" işlemi yapılmıştır. Mesh yaparken en önemli parametrelerden biri "mesh size" dır. Bu değer 0,25 mm olarak seçilmiştir. "Mesh size" değeri en az sayıda nodul ile en doğru ve hassas analizlerin yapılabilmesi için gerekli ve yeterli nodul sayısı kriterlerine göre en uygun değer olarak seçilmiştir (Şekil 4.4).



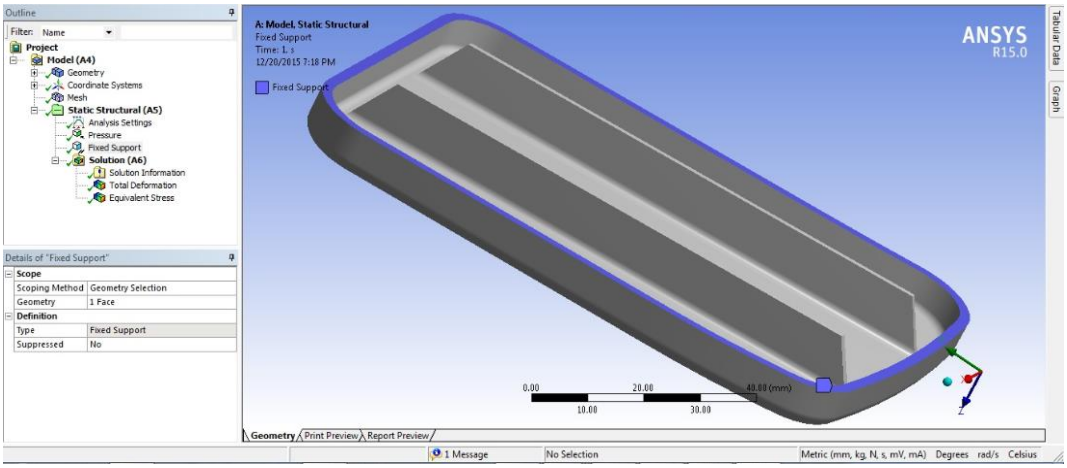
Şekil 4.4. Parçanın ansys yazılımında mesh yapılmış görüntü

Ankastre yüzey seçimi

Parçaya basınç/kuvvet uygulandığı zaman plastik parçanın bir kenarı ya da yüzeyinin anskestre olması gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi plastik parçada ankastre yüzey tanımlaması yapılmıştır. Ankastre tanımlaması ve yüzey seçimi yapıldıktan sonra seçilen yüzey sabit yüzey olarak belirlenmiş olup plastik parçaya uygulanan basınç/kuvvet karşısında parçanın deformasyon oranı ve egreilmeler tespit edilebilmektedir.



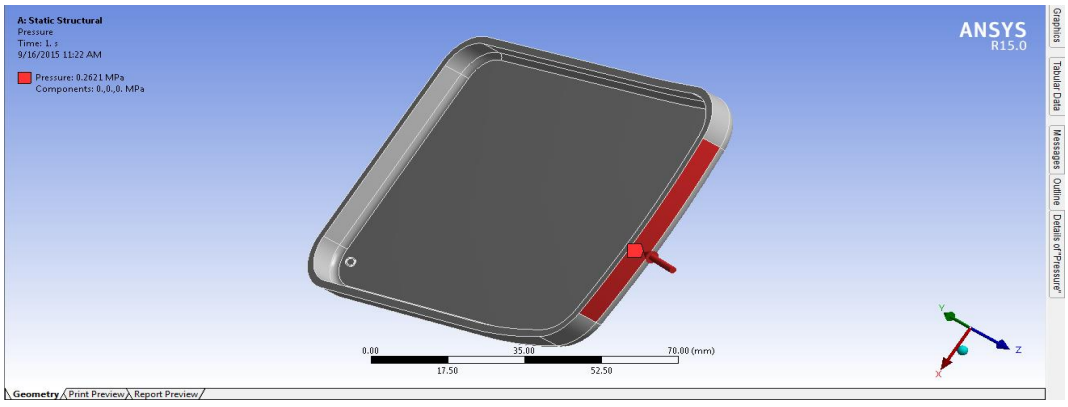
Şekil 4.5. A, B ve C yüzeylerine basınç uygulandığında plastik parçada seçilen ankastre yüzeyi



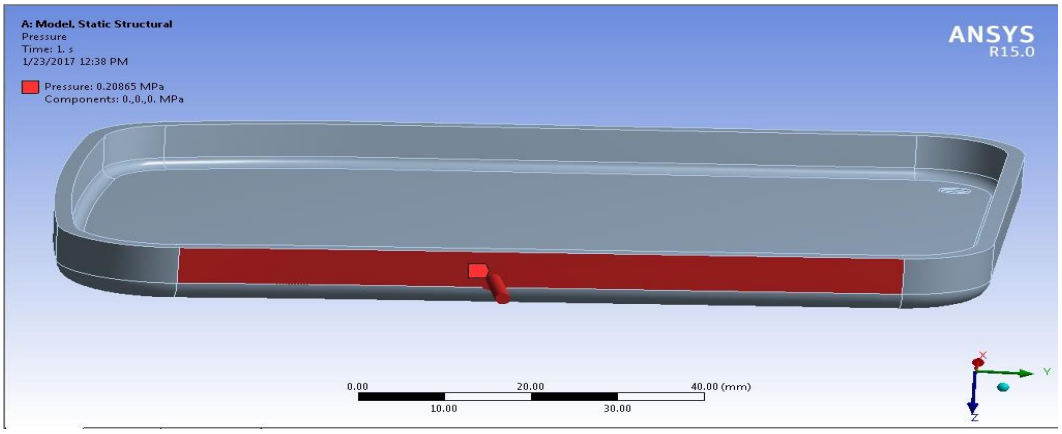
Şekil 4.6. D yüzeyine basınç uygulandığında plastik parçada seçilen ankastre yüzeyi

<u>Federsiz plastik parçaya basınç uygulanan yüzey seçimi</u>

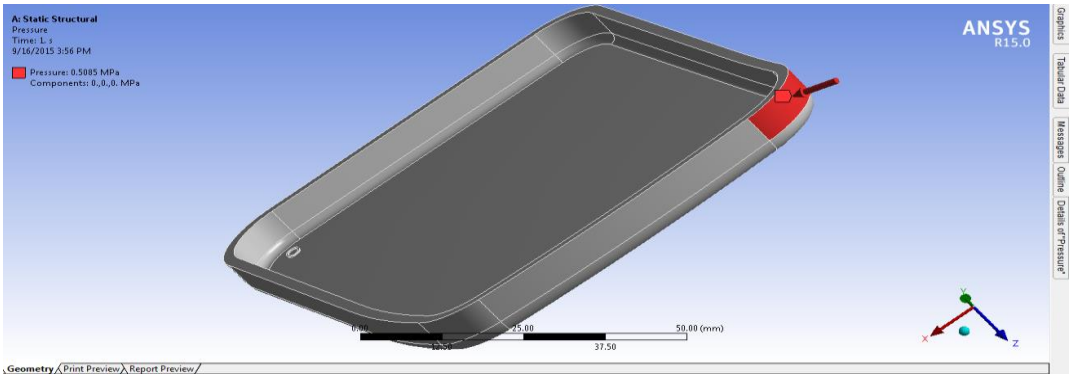
Plastik parçaya uygulanacak basınç değerleri federsiz parçanın akma dayanımına eş değer basınç miktarı belirlenmiştir. Yapılan bu ön analiz ile akma dayanımının bulunduğu basınç ile oluşan gerilme seçilen malzeenin akma dayanımı olan 35 MPa'a eşittir. Analizlerle basıncın uygulandığı tüm yüzeylerde uygulanan basınç değerinin 35 MPa'a eşit gelecek basınç kuvveti bulunmuştur. Bu nedenle A, B, C ve D yüzeylerinin her birine farklı basınç değeleri uygulanmıştır (Şekil 4.7'ile Şekil 4.10 arasında).



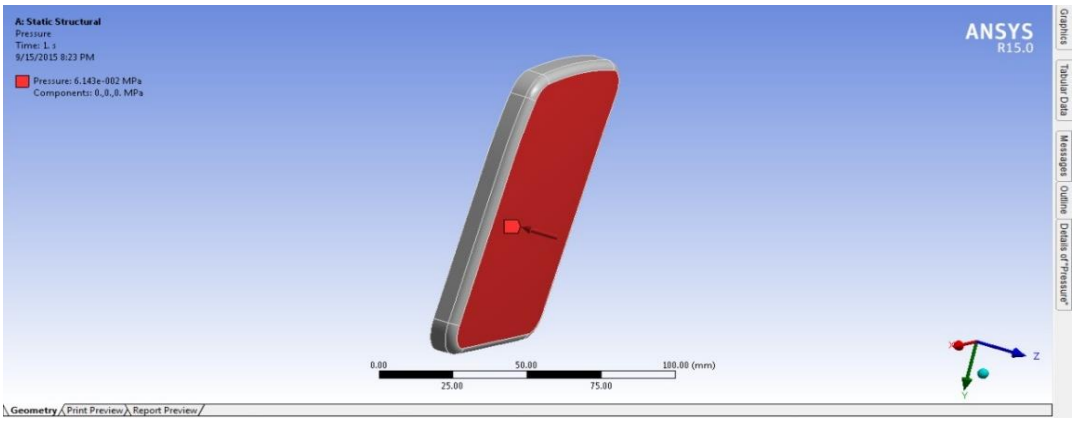
Şekil 4.7. Federsiz plastik parçaya A yüzeyinden uygulanan basınç



Şekil 4.8. Federsiz plastik parçaya B yüzeyinde uygulanan basınç



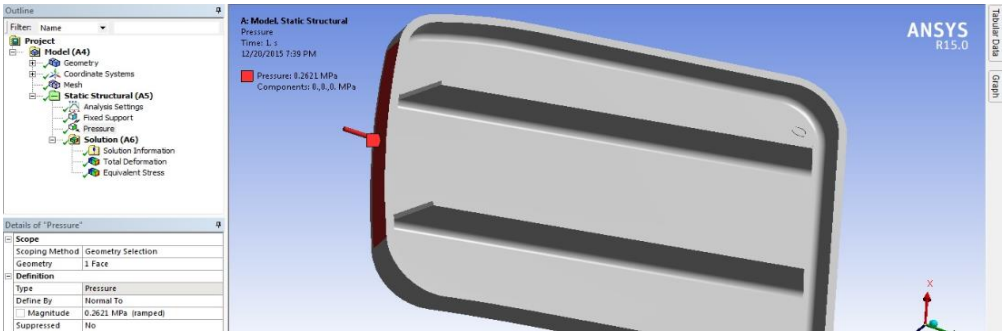
Şekil 4.9. Federsiz plastik parçaya köşeden uygulanan basınç



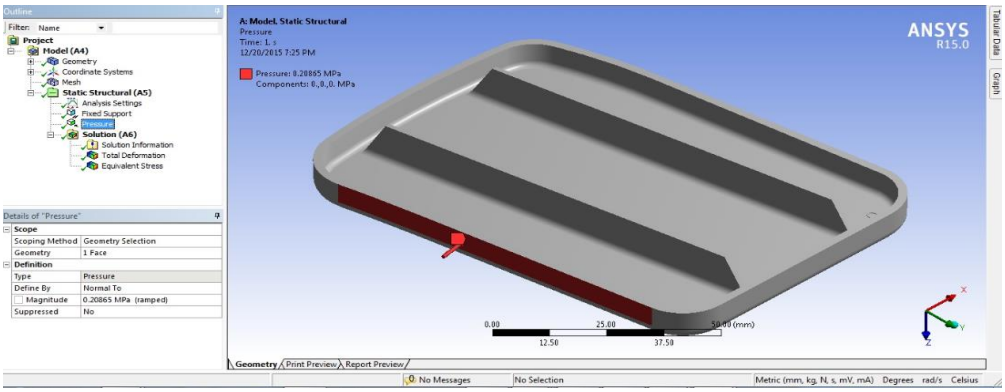
Şekil 4.10. Federsiz plastik parçaya arkadan uygulanan basınç

Federli plastik parçalara basınç uygulanan yüzey seçimi

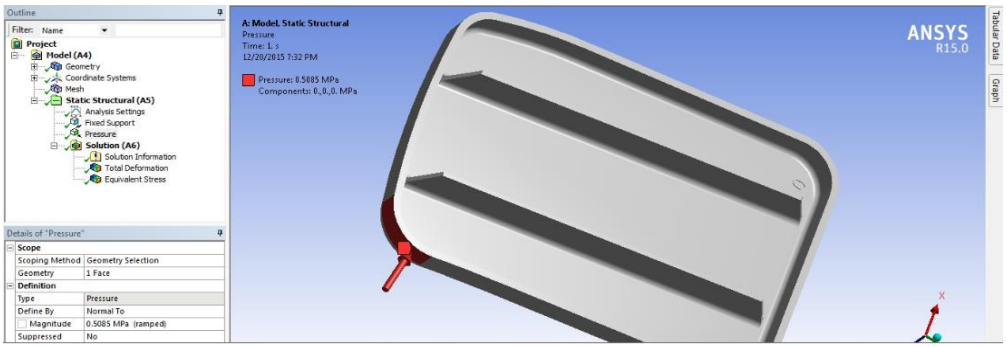
Federsiz plastik parçadan elde ettiğimiz basınçlar tüm federli parçalarda uygulanmaktadır. Parçaya dört farklı yönden basınç uygulanmıştır. Bu bağlamda federli plastik parçalara A, B, C, ve D yüzeylerinden uyulanan basınçlar Şekil 4.11'ile Şekil 4.14 arasında verilen şekillerde gösterilmiştir.



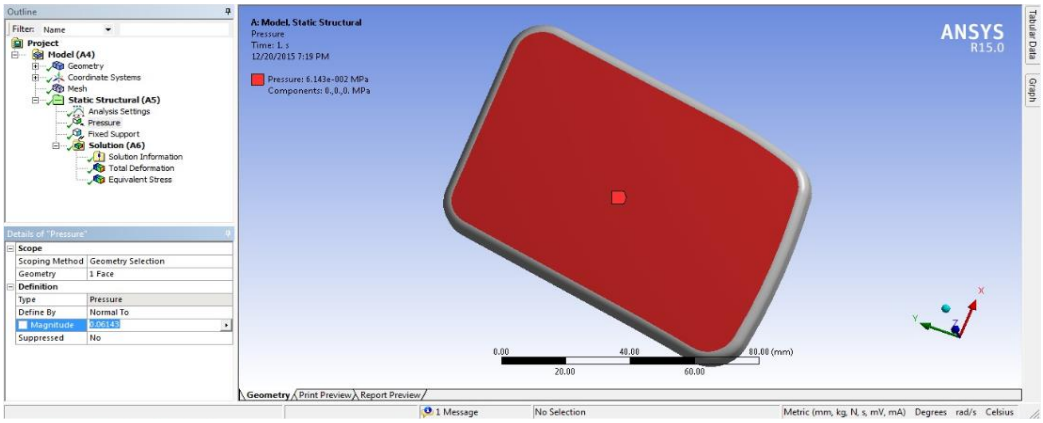
Şekil 4.11. Federli plastik parçaya A yüzeyinden uygulanan basınç



Şekil 4.12. Federli plastik parçaya B yüzeyinden uygulanan basınç



Şekil 4.13. Federli plastik parçaya C yüzeyinden uygulanan basınç



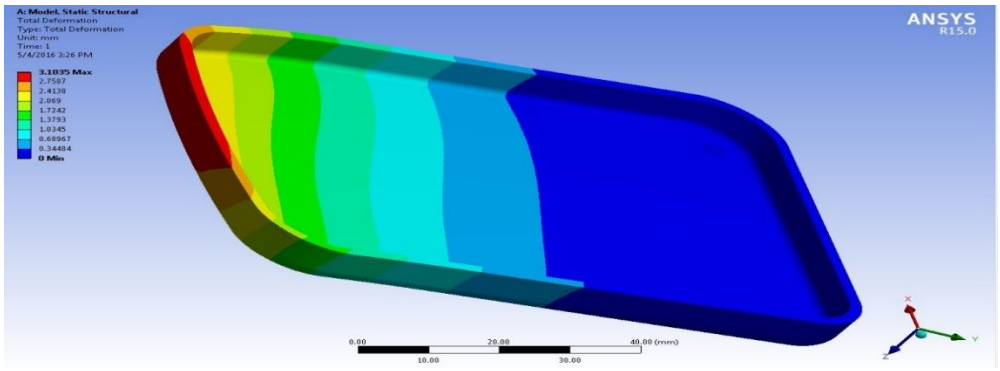
Şekil 4.14. Federli plastik parçaya D yüzeyinden uygulanan basınç

4.4. Federsiz Parçada Dört Farklı Yönden Uygulanan Basınçların Oluşturduğu Deformasyon Miktarları

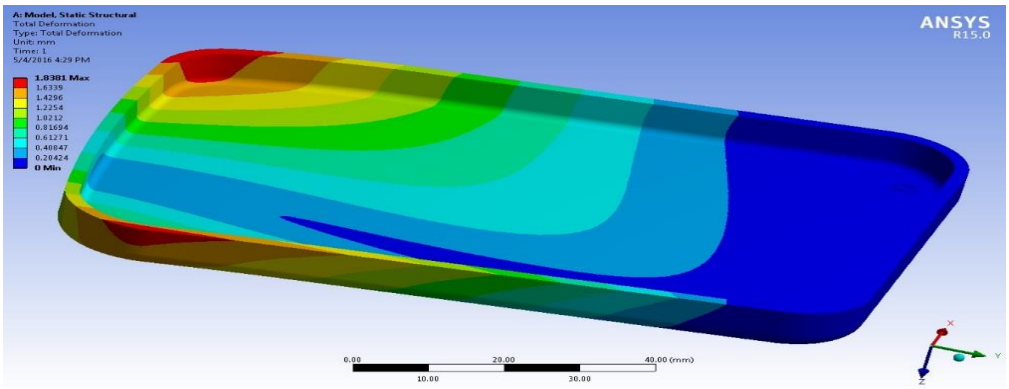
Çizelge 4.5. Federsiz plastik parçada 35 MPa lık gerilmeye karşılık gelen deformasyon değerleri

Basınç Uygulanan yüzey	Referens gerilme değeri, MPa	Oluşan deformasyon miktarı, mm
A	35	3,10
B	35	1,83
C	35	3,21
D	35	3,08

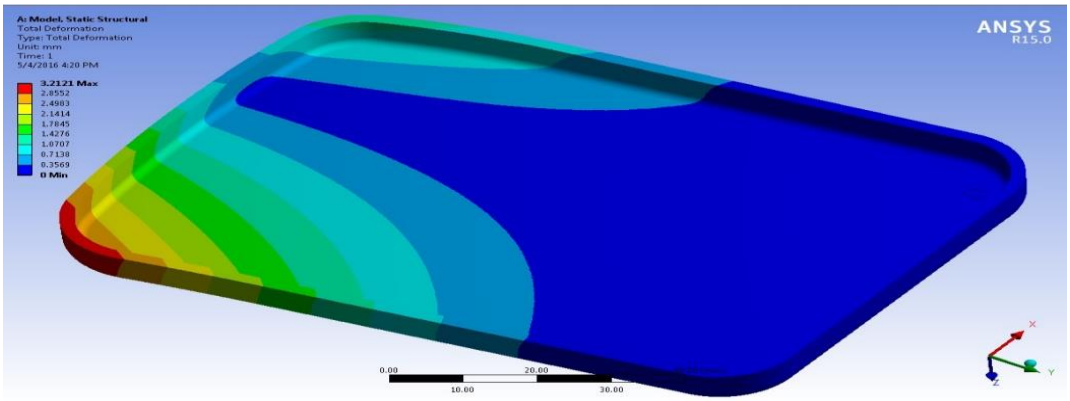
Federin plastik parçanın mukavemetine etkilerini belirlemek için yaplacak analizlerde kullanılacak kuvvet/basınç değelerini belirlemek için federsiz plastik parça üzerinde belirlenen dört farklı yüzey (Şekil 4.7-Şekil 4.10) üzerinde basınç uygulanarak seçilen PP malzemesinin akma dayanımı olan 35 MPa'ı oluşturacak basınç kuvvetleri belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Federsiz parçaya dört farklı yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı Şekil 4.15'ile şekil 4.18 arasında görülmektedir.



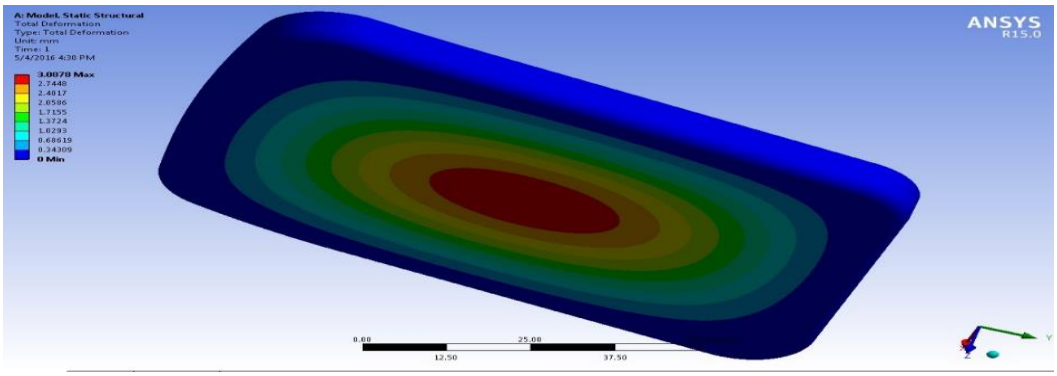
Şekil 4.15. Federsiz parçaya A yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı



Şekil 4.16. Federsiz parçaya B yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı



Şekil 4.17. Federsiz parçaya C yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı



Şekil 4.18. Federsiz parçaya D yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan deformasyon dağılımı

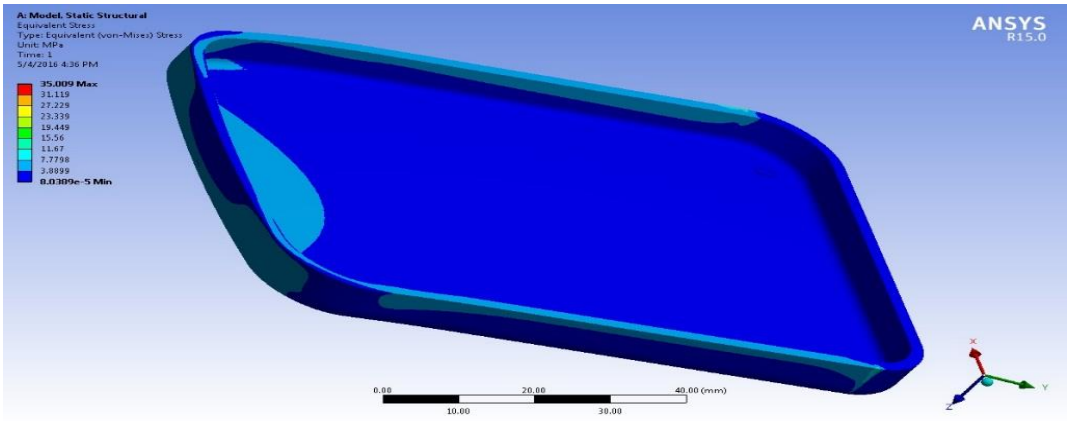
4.5. Federsiz Parçada Dört Farklı Yönden Uygulanan Basınçların Oluşturduğu Gerilme Değerleri

Plastik parçalarda 35 MPa akma dayanımına denk gelecek basınç değerleri ön analizle tespit edilmiş olup A, B, C ve D yüzeylerine uygulanacak basınç değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir. Federsiz parçaya dört farklı yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı şekil 4.19'ile şekil 4.22 arasında görülmektedir.

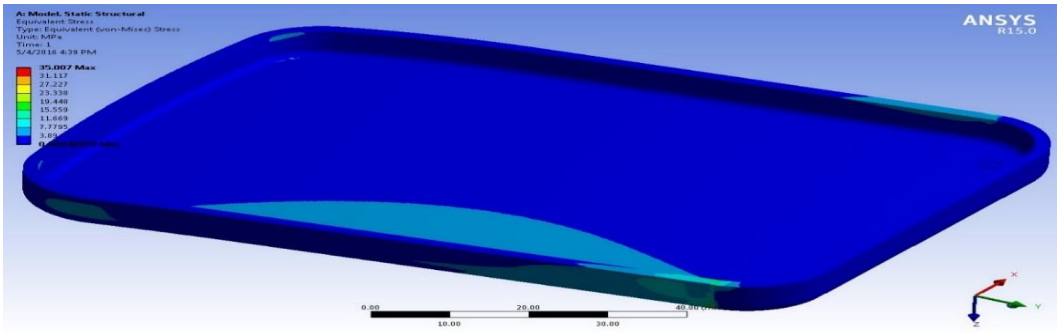
Çizelge 4.6. Federsiz plastik parçada 35 MPa lık gerilmeye karşılık gelen basınç değerleri

Basınç Uygulanan yüzey	Referens gerilme değeri, MPa	Uygulanan Basınç değeri, Mpa
A	35	0,2621
B	35	0,2087
C	35	0,5085
D	35	0,0614

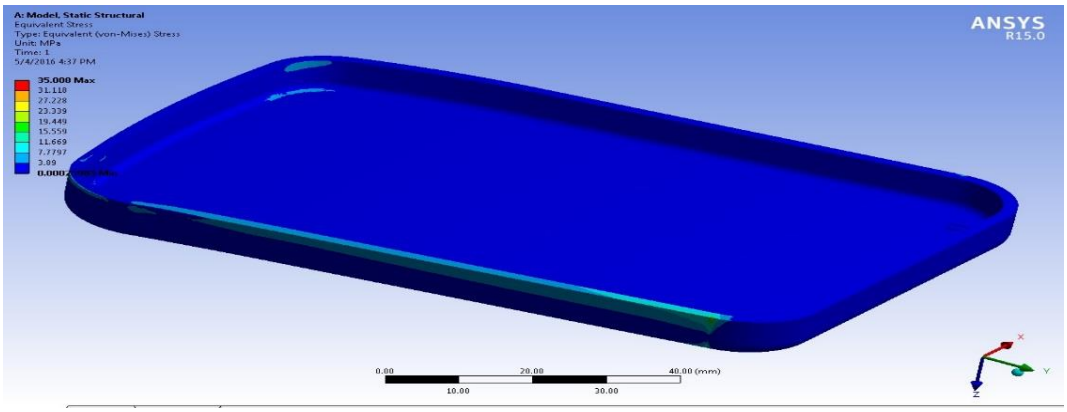
Federsiz plastik parçaya A yüzeyine Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi 0,2621 MPa'lık basınç uygulandığın da parçada oluşan gerilme değerleri ve gerilme dağılımı Şekil 4.19'da verilmiştir. Bu değerler feder parametreleri kullanılarak yapılacak analizlerde elde edilen sonuçların kıyaslanabilmesi için referans değer olarak kullanılacaktır.



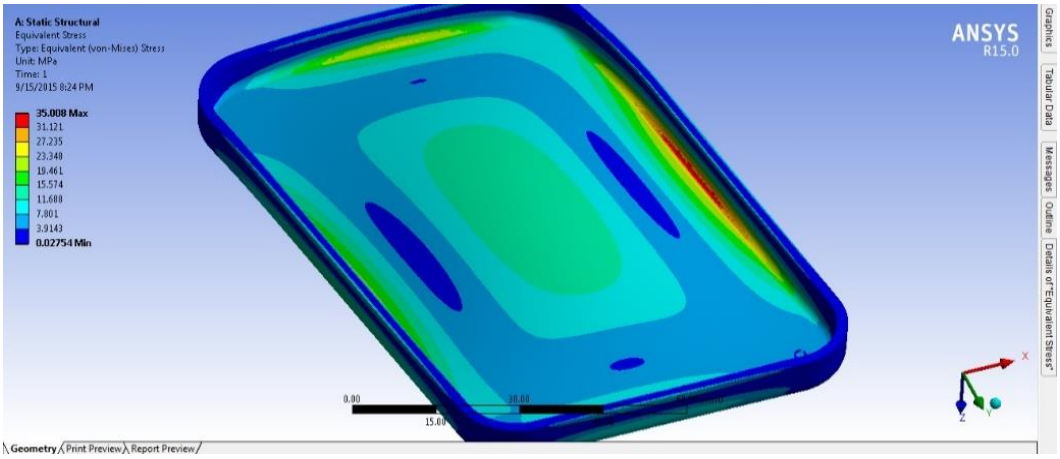
Şekil 4.19. Federsiz parçaya A yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı



Şekil 4.20. Federsiz parçaya B yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı



Şekil 4.21. Federsiz parçaya C yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı



Şekil 4.22. Federsiz parçaya D yüzeyinde uygulanan basınç sonu oluşan gerilme dağılımı

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

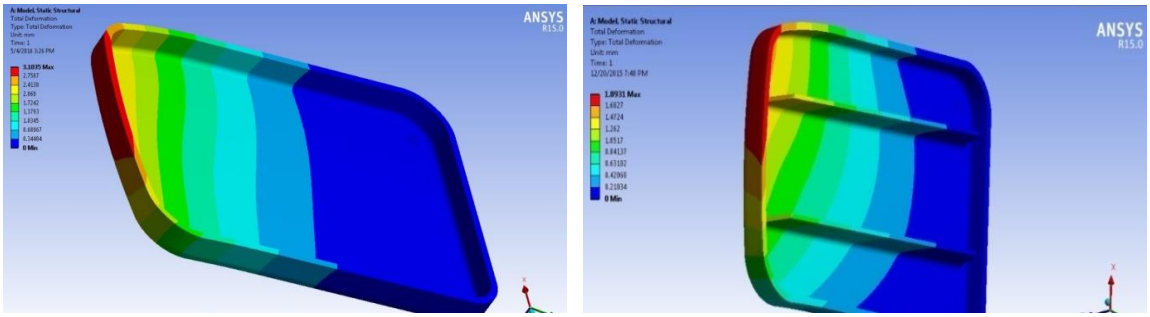
Plastik parçalar günümüzde heme hemen her alanda kullanılmaktadır. Bir çok alanda kullanılan plastik parçaların mekanik mukavemetleri kullanım yerlerine bağlı olamkla beraber önem arz etmektedir. Mukavwemeti artırmanın çeşitlki yolları bulunmakla beraber en yaygın kullanılan metod malzemyi değiştirme, geometrik şekli değiştirmek, ürün et kalınlığını değiştirmek gib yöntemler uygulanmaktadır. Bir çok uygulamada kullanılan plastik malzeme belirli olup değiştirilmesi istenmemektedir. Benzer şekilde ürünün geometrik şekli tasarımcı tarafından kesinleştirilmiş olduğu durumlarda da geometrik değişiklik istenmemektedir. Geriye kalan ise et kalınlığının değiştirilmesidir. Plastiklerin yaygın olarak kullanılmalarının en önemli sebeplerinde biri olan hafifliklerdir. Plastiklerin et kalınlığını nedeniyle mukavemeti artırmak için parça et kalınlığının artırılması ürünün ağırlığının artması ve kullanılacak hammaddenin de artmasıdır ki bu da maliyetleri artırmaktadır. Bu parametrelerin yanında plastik ürünlerin mukavemetlerini artırmak amacıyla feder yapıları kullanılmaktadır. Gövde üzerinde oluşturulan omurgalar mukavemet artışına sebep olmaktadır. Federler plastik parçanın yapısına bağlı olup görsel ve fonksiyonel olan yüzeylerin dışındaki yerlere yapılabilmektedir.

Plastik parçaların tasarımında mukavemet artırmak amacıyla kullanılan feder yapılarının plastik parça dayanımına etkilerini araştırmak amacıyla feder yapıları eklenmiştir. Gerçekleştirilen bu tez kapsamında federlerin yüksekliği, feder kalınlığı, feder açısı ve feder diplerindeki yuvarlatma yarı çaplarının parça mukavemetine etkileri incelenmiştir. Federlerin parça mukavemetine etkilerini tespit edebilmek için federsiz plastik parçada 4 farklı yüzey belirlenmiş ve bu yüzeylere ön gerilmeler uygulanarak seçilen malzemenin akma dayanımı olan 35 MPa’lık gerilmenin oluştuğu basınç değerleri tespit edilmiştir. Feder parametreleri kullanılarak toplam 345 farklı tasarımın 4 farklı yüzeydeki gerilmeleri Ansys yazılımı il gerçekleştirilerek gerilme değerleri ve deformasyon değerleri belirlenmiştir.

5.1. Basınca Bağlı Olarak Gerçekleşen Deormasyon Miktarları

5.1.1. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5° sabit tutulmaktadır)

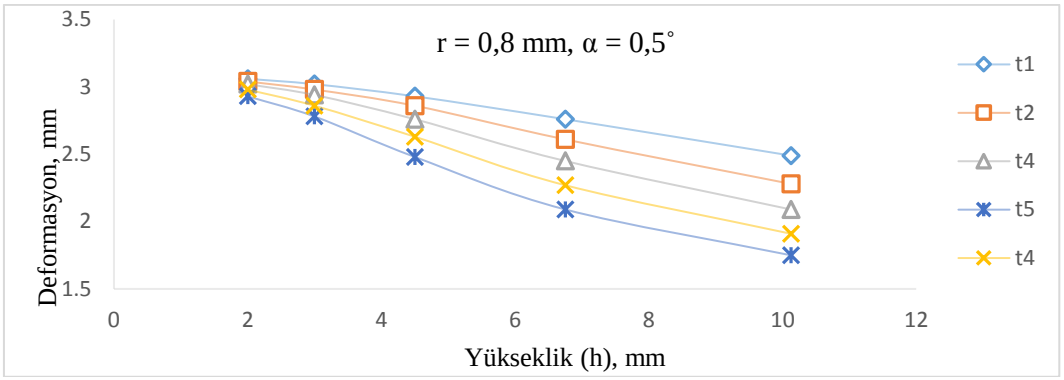
Plastik parçalara belirli basınç ya da kuvvet uygulşandığında plastik parçada belirli miktarda eğilme ve yer değiştirme şeklinde deformasyon oluşmaktadır. Bu deformasyon değeri akma dayanımını geçmediği takdirde uygulanan yük kaldırıldığında plastik ürün eski haline geri dönmektedir. Gerilme miktarı plastik defrormasyon miktarını geçmesi durumunda üründe kalıcı şekil değişikliği gerçekleşmiş olacağı için ürün kullanılamaz hale gelecektir. Gerçekleştirilen bu çalışamda federsiz plastik parçaya uygulanan referans gerilme değerleri ile akma dayanımı sınırına kadar gerilme uygulanmıştır.



a) b)

Şekil 5.1. A yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları. a) Federsiz plastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, α = 0,5°)

Şekil 5.1'de verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada A yüzeyinden (önden) uygulanan basınç sonucu oluşan deformasyon Çizelge 4.5'de verildiği gibi 3,10 mm iken yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımdaki deformasyon miktarının 1,89 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Federsiz parçada basınç uygulanan yüzeyde akma dayanımına denk gelen 35 MPa lık gerilmenin oluşturduğu deformasyon miktarı feder oluşturulduğunda 3,10 mm den 1,89 mm ye düştüğü belirlenmiştir. Şekil 5.1'b'de görüldüğü gibi kenarın yer değiştirme miktarı elastik deformasyon sınırları içerisinde kaldığı ve seçilen bu tasarımda deformasyon miktarının %39 azaldığı belirlenmiştir.



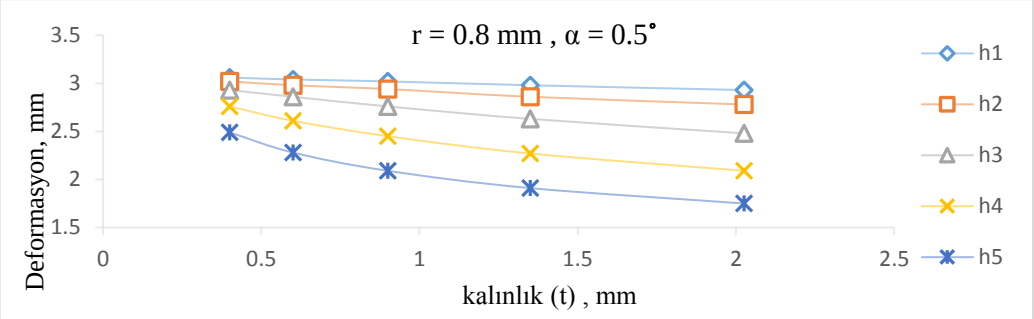
Şekil 5.2. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.2'de görülmektedir. Federin r = 0,8 mm ve α = 0,5 ° sabit tutulmüştur. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi federin yüksekliğinin artması deformasyon oranı azaltmaktadır. Buna göre feder yüksekliği ile deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Feder kalınlığın artması da parçanın deformasyon oranının azalmasında etkili olmuştur. Ancak feder kalınlığının etkisi feder yüksekliğene göre daha az bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştyir. En düşük deformasyon h_5 yüksekliği ve t_5 kalınlığında meydana gelmektedir. Bu kalınlıkta feder yüksekliğinin artmasıyla defrormayon miktarı 2,93 mm'den 1,75 mm'ye düşmüştür yani deformasyon oranı %41 azalmıştır. Deformasyon oranının azalması ise plastik parçanın daha az deforme olması demektir. Plastik parçada federin yüksekliği et kalınlığının 5 katı ve federin kalınlığı plastik parçanın et kalınlığına eşit olduğunda deformasyon oranı %41 azalmaktadır. Ayrıca feder parametreleri h5 ve t5 olduğunda, plastik parçanın deormasyonu federsiz parçaya göre %44 azalmaktadır (3,10 mm'den 1,75 mm'ye düşmüştür).

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapta federin 2; 3, 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-2-a'da görülmektedir. Federin kalınlığı t = 1,35 mm ve feder açısı α = 0,5^o te sabit tutulmuştur. Yüksekliğin artmasıyla deformasyon oranı azalmaktadır. Ancak yarıçap değişimi parçanın deformasyonunda etkili olmamıştır. 5 farklı yarıçapta deformasyonun sabit olduğu tespit edilmiştir. En düşük deformasyon miktarı en büyük feder yüksekliğinin uygulandığı tasarımda elde edilmiştir. Feder yükseklği h_5 olarak uygulandığında ve r_5 yarıçapında en düşük deformasyon meydana gelmektedir. Bu boyutta deformasyon oranı 2,96 mm'den 1,89 mm'ye düşerek %37 oranında azalmıştır. En düşük deformasyonda plastik parçanın

deformasyonu federsiz plastik parçaya göre %39 azalmaktadır (3,10 mm'den 1,89 mm'ye düşmüştür).

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 6;75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-2-b de görülmektedir, r 0,8 mm de, t = 1,35 mm'de sabit tutulmuştur. Feder açının artması deformasyon üzerinde etkili olmamıştır. Ayrıca feder kalınlığıyla deformasyon miktarı arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu da tespit edilmiştir. Yüksekik arttıkça feder açının artması deformasyon oranını az da olsa artmaktadır. Tasarım parametresi h_5 olduğunda deformasyon miktarı 2,99 mm'den 2,04 mm'ye düşmekte olup değişik %33 kadardır. Kalınlık h = 10,125 mm olduğunda ise plastik parçanın deformasyon miktarı 3,10 mm dan 2,04 mm kadar azalmakta olup federli plastik parçanın deformasyon miktarı federsiz parçaya göre %34 oranında azalmaktadır.



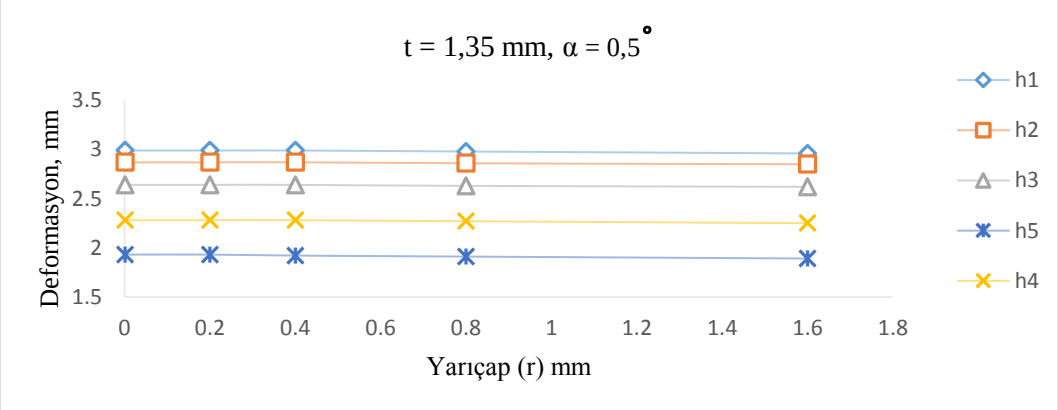
Şekil 5.3. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder kalınlığına bağlı olarak değişimi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yükseklikte federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklardaki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.3'te görülmektedir. Bu grafikte feder yarıçapı r = 0,8 mm ve feder açısı α = 0.5° olarak sabit tutulmuştur. Buna göre, feder kalınlığının artması deformasyonun azalmasına sebep olmuştur. Feder kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmektedir. Yükseklik arttıkça kalınlığın etkisi deformasyon üzerinde daha çok olduğu ve en düşük deformasyon en yüksek kalınlık ve yükseklikte görülmektedir. Feder kalınlığı 6,75 mm ve yüksekliği 10,125 mm olduğunda deformasyon oranı %30 azalmaktadır. Plastik parçada federin kalınlığı et kalınlığıyla eşit ve feder yüksekliği plastik parçanın et kalınlığının yaklaşık 5 katı olduğunda deformasyon miktarı 2,49 mm'den 1,75mm'ye düşerek %30 oranında azaldığı görülmüştür. Feder parametresi t_5 ve h_5 olduğunda plastik parçanın deformasyonu federsiz parçayla karşılaştırdığında deformasyon miktarı 3,10

mm'den 1,75 mm'ye düşmüştür buna göre yüzde değişim oranını ise %43,5 sevieysinde olduğu belirlenmiştir.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-2-c'de görülmektedir. Burada, feder parametrelerinde feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla h = 4,5 mm ve α = 0,5 ° olarak sabit tutulmuştur. EK-2-c'de verilen şekilde görüldüğü gibi, kalınlık artmasıyla deformasyon oranı azalmaktadır. Ayrıca feder kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu ve deformasyonun değişiminde yarıçapın etkisi çok az olduğu görülmektedir. Feder boyutu t_5 ve h_5 olduğunda deformasyon oranı %16 azalmaktadır. Deformasyon miktarı 3,10 mm'dan 2,48 mm'ye düşmüş olup bu deformasyon miktarı aynı şartlardaki federsiz plastik parçayla karşılaştırdığında deformasyon oranında %20 azalma olduğu görülmektedir. Deformasyon oranındaki %20 düşüş plastik parçasnın kullanım yerinde %20 daha güvenli çalışması ya da kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmak şartıyla deforme olmadan %20 daha büyük kuvvetlere maruz kalabileceğini göstermektedir.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarında değişiminin deformasyon oranının üezerin etkisi EK-2-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Açının artması parçanın deformasyonunu değişmemiştir ancak kalınlığın artması deformasyonu %16 oranında azaltmaktadır. En düşük deformasyon feder kalınlığının 2,025 mm olduğu tasarımda görülmektedir. En düşük deformasyona sahip olan plastik parça aynı parametredeki federsiz plastik parçayla karşılaştırdığında deformasyon miktarı 3,10 mm'den 2,52 mm'ye düşerek deformasyon oranı %19 azalmaktadır.



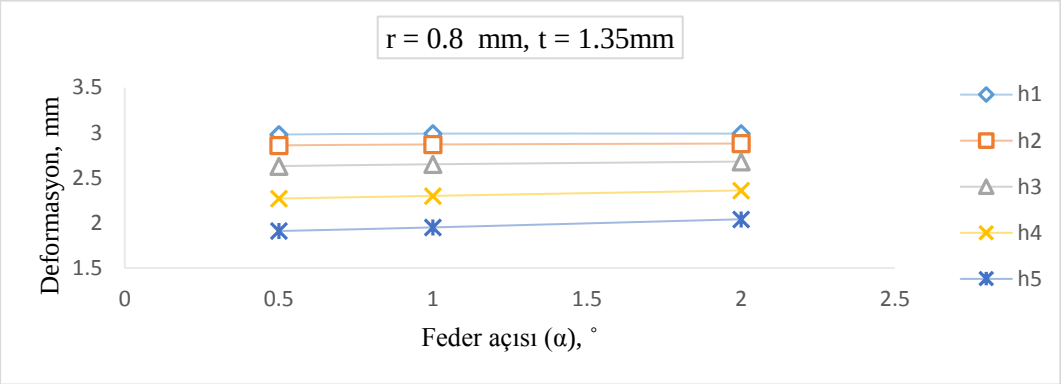
Şekil 5.4. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder yarıçapına bağlı olarak değişimi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5-4'de görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 ve $\alpha = 0{,}5^{o}$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Feder yarıçapının artması parçanın deformasyon oranını çok düşük miktarda düşürmektedir. Bu bağlamda, en düşük deformasyon feder yüksekliği h = 10,125 mm ve yarıçap r = 1,6 mm olduğu tasarımda görülmektedir. Yarıçapın artması deformasyon oranını %3 azaltmıştır. Bu miktar feder yüksekliği ve feder kalınlığı gibi parametrelerinde yanında düşük olmakla birlikte feder diplerindeki bu yarıçap plastik parçasının deformasyonu üzerinde olumsuz etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak ileriki bölümde görüleceği gibi feder diplerindeki yuvarlatmanın gerilmenin feder diplerinde yığılmasını önlediğini tespit edilmiştir

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda ve feder parametrelerinden h = 4,5 mm'de ve $\alpha = 0{,}5^{\circ}$ sabit olduğu ve feder yarı çaplarının 0, 0,2; 0,4; 0,8 ve 1.6 mm'deki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-2-e'de görülmektedir. Feder diplerindeki yuvarlatma yarı çapının plasitk parça deformasyonu üzerinde önemli bir etkisinin olmaması nedeniyle yarı çapın değişiminin kayda değer bir iyileştirme sağlamadığı belirlenmiştir. Ancak feder yarıçaplarının değiştiği tasarımlarda feder kalınlığın artması deformasyon oranının %15 düşürmektedir. Bu bağlamda, feder yarıçaplarının değiştirildiği tasarımlarda en düşük deformasyonun t_5 ve r_4 parametrelerinde olduğu tespit edilmiştir. Deformasyon miktarı 2,93mm'de 2,48'mm'ye düşmekte olup deformasyon oranı t_1 ve r_4'e göre yaklaşık %15 azalmaktadır. Plastik parçada en düşük deformasyon federsiz parçayla göre %20 azalmaktadır.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda tasarımdaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-2-f'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik ve kalınlığın sırasıyla h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm olarak sabit tutulmuştur. Feder yarıçapıyla feder açısının deformasyon üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla farklı feder açılarına göre oluşturulan grafikte değişim tespit edilememiştir olup deformasyon miktarı ise 2,64 mm'den 2,62 mm'ye düşmüştür. Bu değişim miktarının dikkate değer olmadığı ve düşük oranklarda kaldığı belirlenmiştir. Ancak yarıçapın değişimine bağlı olarak deformasyon oranının en büyük değişimi dikakta alındığında defromayın miktarı 3,10 mm'den 2,62 mm'ye düşmüş

olup federli plastik parçanın deformaon oranının federsiz plastik parçaya göre %15 oranında azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 5.5. A yüzeyden uygulanan basınçta deformasyon miktarının feder açısına bağlı olarak değişimi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.5'da görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. Yapılan analizler göre federli parçalar kendi aralarında kıyaslandığında feder açısı arttıkça deformasyon miktarında çok önemli oranda olmasa da artmaktadır. Ancak feder açısının en yüksek olduğu tasarımda bile federsiz plasitk parçaya göre deformasyonmiktarı yine düşüktür. Feder açısının en yüksek değerinde ve yükseklikte artırıldığında deformasyon miktarında yaklaşık %6,25 civarında artış görülmektedir. Bunun sebebi açı büyüdükçe ve feder yüksekliği de arttkça federin kesit alanı azalmaktadır. Plastik parça üzerine uygulanan yük sabit kalıp feder kesit alanı azaldıkça birim alan düşen kuvvet yani gerilme değerinde atış olmaktadır. Gerilme değeri arttıkça da deformasyon miktarında artış olmaktadır.

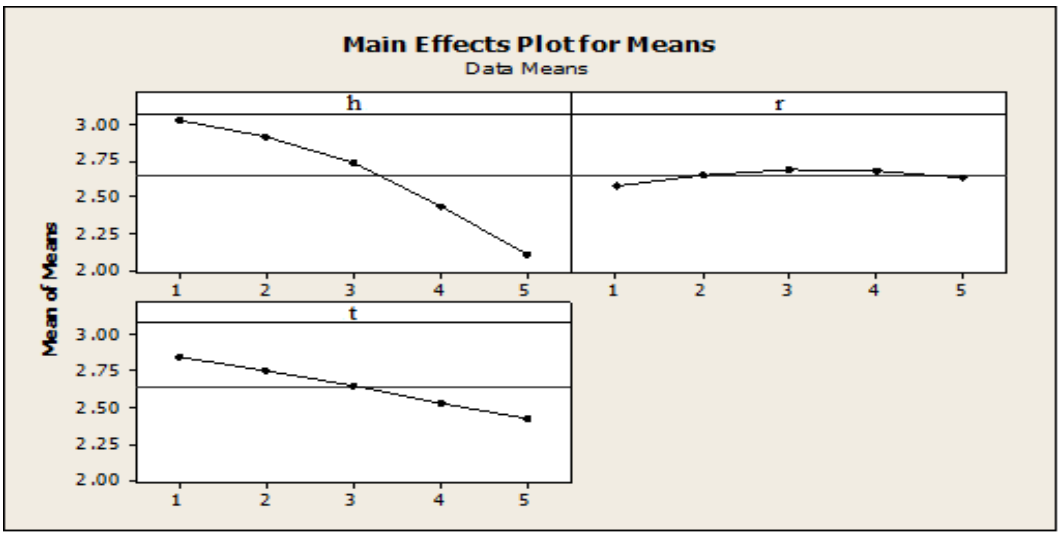
Feder yüksekliği 2 mm ve 3 mm'ye kadar olduğund adeformssyon miktarında kayda değer bir artış veya değişim tespit edilmemiştir. Ancak feder yüksekliği özellikle 4,5; 6,75 ve 10,125 mm değerlerine ulaştığında açı değerinin de artmasına bağlı olarak deformasyon miktarı 1,92 mm'den 2,04 mm'ye yükselmekte olup deformayın oranın %6,25 arttığı görülmektedir.

En düşük deformasyon miktarı feder yüksekliğinin en yüksek olduğu h5 (10,125 mm) ve feder açısının en düşük değeri olan α1 (0,5^o)'de olduğu tespit edilmiştir. Açının 0.5^o olduğu ve yüsekliğin 10,125 mm olduğu tasarımda deformasyon miktarı 2,98 mm'den 1,92 mm'ye düşmektedir. Buna göre, deformasyon oranı %33 azalmaktadır. Yapılan bu analizlere göre

en düşük deformasyon miktarı 3,1 mm den 1,92 mm düşmekte olup federsiz plastik parçaya göre deformasyon oranını %38 azaltmaktadır.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarında deformasyon oranında etkisi EK-2-j'de görülmektedir. Feder parametresi h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Feder açının artması deformasyon oranını yaklaşık %1,6 artmaktadır. En düşük deformasyon t_5 ve α_1'de olduğu tespit edilmiştir. Açının artmasının deformasyonu artırdığı ancak açı artışının yanında feder kalınlığı da artmışsa deformasyon oranının %16 azaldığı belirlenmiştir. En düşük deformasyona sahip olan plastik parça federsiz parça ile kıyaslandığında deformasyon miktarının 3,1 mm'den 2,48 mm'ye düştüğü ve buna göre deformasyon oranının %20 azaldığı anlaşılmaktadır.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-2-h'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik h = 4,5 mm ve kalınlık t = 1,35 mm sabit tututlmuştur. Yarıçapın ilk dört değerinde açının artması deformasyon üzerinde etkili olmamış ancak yarıçapın 1,6 mm olduğu tasarımda açının 1^o'den 2^o'ye artması deformasyonu azaltmaktadır. En düşük deformasyon miktarı r_5 ve α_1 olduğu tasarımda olduğu ve deformasyon miktarının 2,62 mm'den 2,52 mm'ye düştüğü ve deformasyonu oranının %4 azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca plastik parçada en düşük deformasyon miktarının 3,10 mm'den 2,52 mm'ye düştüğü ve federsiz parçaya göre %19 azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 5.6. A yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri

Feder parametrelerinin grafkleri incelendiğinde hangi feder parametresinin deformasyon miktarını ne kadar değiştirdiği tespit edilebilmektedir. Ancak feder parametrelerinin birlikte değerlendirerek hangi parametrenin deformasyonu ne kadar değiştirdiğinin belirlemek için Taguchi analizi yapılmıştır. Buna göre, feder açısı sabit olmak üzere feder yüksekliği (h), feder yarıçapı (r), feder kalınlığı (t)'nin deformasyon üzerinde etkilerinin Taguchi yöntem ile analizinin sonuçları Şekil 5.6'te göverilmiştir. Şekil 5.6 incelendiğinde grafiklerin eğim miktarı ve değişim miktarlarına göre deformasyon üzerinde en büyük etkiye sahip parametrenin feder yüksekliği olduğu ikinci etken parametrenin feder kalınlığı ve üçüncü parametrenin ise feder diplerindeki yarıçap değerleri olduğu görülmektedir.

Feder yüksekliği artması deformasyon oranını yaklaşık %49 azaltmaktadır. Yarıçapın değişimi parçanın deformasyonunda etkisi az olsada artması deformasyon oranını artmaktadır. Feder kalınlığı ise deformasyon miktarını %44 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Ancak feder diplerindeki yuvarlatmanın yarıçap değerinin deformasyon oranını çok düşük te olsa artırmıştır. Yarıçap değerinin deformasyon oranını artırması sadece federli plastik parçalar kendi aralarıdna kıyaslandığında elde edilen değişim miktarını vermekte olup en büyük deformasyon oranına sahip federli parça bile federsiz parçadan daha az deforme olmuştur.

Feder parametresi olan yarıçap değeri r_1 olduğunda en düşük deformasyon görülmektedir. En çok artış ise r_3 olduğunda tespit edilmiştir. Yarıçapın r_1 ile r_3 aralığında değişmesi veya artması deformasyon miktarını yaklaşik %3,5 oranında artırmaktadır. Şekil 5.6'da verilen kalınlığın deformasyon üzerindeki etkisinin verildiği grafik incelendiğinde kalınlığın deformasyon üzerinde olumlu yönde etkili olduğu ve deformasyon miktarını azalttığı görülmektedir.

En düşük deformasyon h_5, r_1 ve t_5 parametrelerinde olduğu tespit edilmiştir. Feder yüksekliğinin 10,125 mm, yarıçapın 0,4 mm ve kalınlık 2,025 mm olduğunda deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %44 azalmaktadır (3,10 mm'den 1,76 mm'ye düşmüştür). Ayrıca en düşük deformasyon Taguchi ile yapılan analizde elde edilen grafiktekilerle yaklaşık aynı olduğu belirlenmiştir.

EK-1-a ve b'de verilen deformasyon değerlerine göre en yüksek deformasyon feder parametreleri h_1, r_1 ve t_5 olduğunda 3,07 mm'de belirlenmiştir. Bu deformasyonda oluşan

gerilme miktarı 36,03 MPa'da görülmektedir. Gerilme oranı plastik parçanın akma dayanımıa göre yaklaşık %2,9 artmaktadır. Yani feder parametreleri h_1, r_1 ve t_5 olduğunda feder olumsuz şekilde plastik parçanın mukavimetini etkilemiş ve parçanın gerilme değeri maksimum olan bölgelerde plastik deformasyon oluşturmuştur. En düşük deformasyon h_5, r_4 ve t_5 parametreleri ile yapılan tasarımda 1,75 mm olarak tespit edilmiştir. Bu tasarımda deformasyon oranının federsiz parçaya göre yaklaşık %43,5 azaldığı belirlenmiştir. Bu deformasyon miktarının elde edildiği analizde oluşamn gerilme ise 31,8 MPa dır. Ancak düşük deformasyon her zaman düşük gerilme anlamına gelmez. Feder parametreleri h_5, r_3 ve t_5 olduğu tasarımda oluşan gerilme plastik parçanın akma dayanımını geçmektedir yani parçada maksimum gerilme oluşan bölgelerde plastik deformasyon meydana gelmektedir. Plastik deformasyonun miktarı maksimum deformasyondan çok düşük olmasına rağmen belirli bölgelerde kalıcı deformasyon oluşması anlamına gelmektedir.

5.1.2. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı $\alpha = 1^{\circ}$ sabit tutulmaktadır)

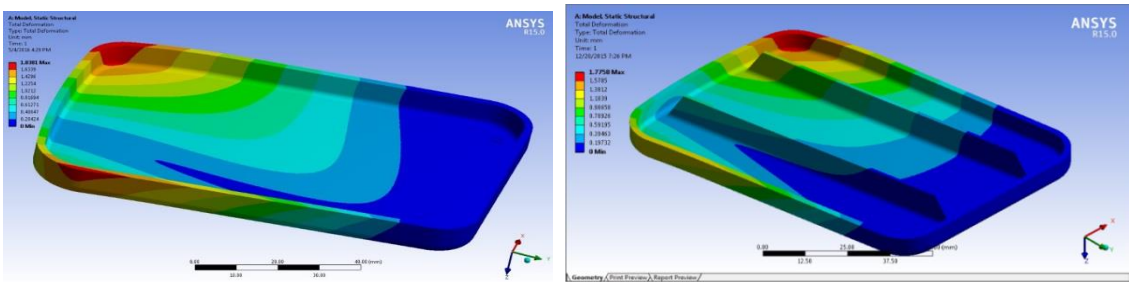
EK-1-a ve b'de verilen deformasyon değerlerine göre en yüksek deformasyon feder parametreleri h = 2 mm, r = 0,001mm ve t = 0,4 mm olduğunda 3,07 mm'te görülmektedir. Bu tasarımda deformasyon miktarını 3,10 mm'den 3,07 mm'ye düşmüş yani deformasyon yaklaşık eşittir. Bu parametrede gerilme miktarı 35,74 MPa'da tespit edilerek. Gerilme oranı federsiz parçaya göre %2,1 artmaktadır. Yani en yüksek deformasyonda gerilme miktarı plastik parçanın akma dayanımını geçmiş ve parçada en büyük gerilme oluşan bölgelerde elastik deformasyon meydana gelmektedir. En düşük deformasyon h = 10,125 mm, r = 0 ,8 mmve t = 2,025 mm'te belirlenmiş. Deformasyon miktarı 3,1 mm'den 1,77 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %42,5 azalmaktadır. Bu deformasyonda gerilme 33,32 MPa'da görülmektedir. Gerilme oranı %4,8 düşerek plastik parçada akma dayanımının altınıda kalmış. Ancak düşük deformasyon gerilme miktarının akma dayanımından az olduğu anlamına gelmez. Feder parametreleri h = 10,125 mm, r = 0,2 mm ve t = 2,025 mm olduğunda deformasyon 1,78 mm'de ve gerilme miktarı 40,69 MPa'da görülmektedir. Gerilme değere akma mukavimetiniden %16,25 fazla olduğu belirlenmiştir. Buda plastik parçada kalıcı deformasyon oluştuğu anlamındadır. En yüksek ve endüşük deformasyon arasında %44,6 fark bulunmaktadır.

5.1.3. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

EK-1-a ve b'da görüldüğü değerlere göre en yüksek deformasyon feder parametreleri h = 2 mm , r =0,2 mm ve t = 0,4 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 3,1 mm'den 3,07 mm'ye düşmüş yani deformasyon yaklaşık aynıdır. Bu tasarımda gerilme miktadır 35,04 MPa'da belirlenmiştir. Feder parametreleri h = 10,125 mm, r = 0,8 mm ve t= 2,025 mm olduğunda en düşük deformasyon tespit edilmiştir. Deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %41 azalmaktadır (3,10 mm'den 1,81 mm'ye düşmüştür). Bu tasarımda gerilme miktarı 33,56 MPa olduğu için kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. En yüksek ve en düşük deformasyonun arasında %47,4 fark bulunmaktadır.

5.1.4. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır)

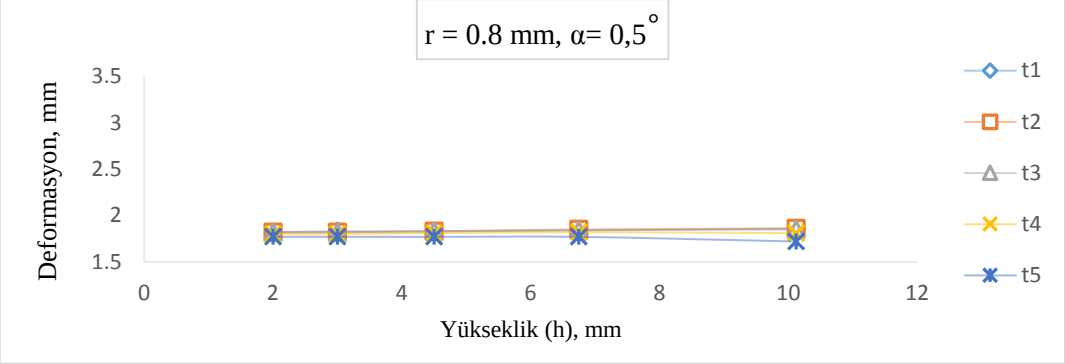
Şekil 5.7'de verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir.



a) b)

Şekil 5.7. B yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları. a) Federsiz plastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, α = 0,5^o)

Federsiz parçada B yüzeyinden (kenar) uygulanan basınç sonucu oluşan deformasyon Çizelge 4.5'de verildiği gibi 1,83 mm iken yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plastik parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5^o olduğu tasarımdaki deformasyon miktarının 1,77 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Federsiz parçada basınç uygulanan yüzeyde akma dayanımına denk gelen 35 MPa'lık gerilmenin oluşturduğu deformasyon miktarı feder oluşturulduğunda 1,83 mm den 1,77 mm'ye düştüğü belirlenmiştir. Yani deformasyon orana yaklaşık %3 azalmaktadır. Deformasyonmiktarında ciddi bir azalma olmadığı belirlenmiştir.

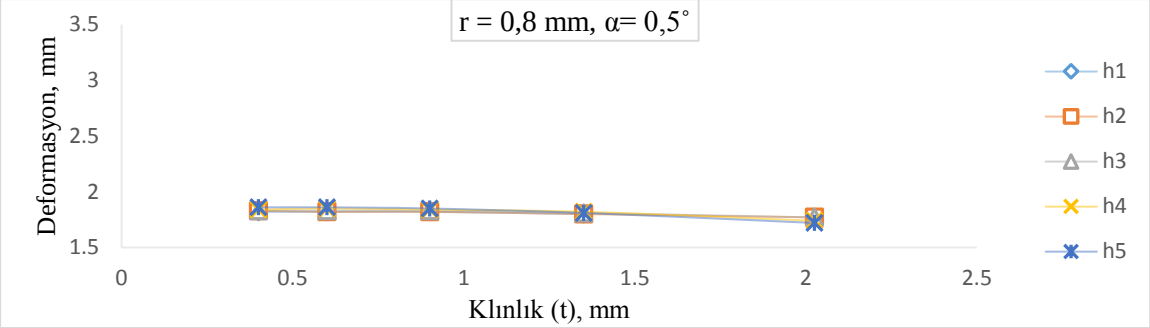


Şekil 5.8. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin yüksekliğinin deformasyon

B yüzeyinden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.8'de görülmektedir. feder r = 0,8 mm ve α = 0,5º sabit tutulmuştur. Feder yüksekliğinin artması deformasyon oranını az miktarda düşürmektedir. Ancak bu etki sadece en yüksek kalınlıkta t = 2,025 mm'de görülmektedir. En düşük deformasyon 10,125 mm yükseklik ve 2,025 mm kalınlığında bulunmaktadır. Plastik parçada feder t_5 kalınlığında yüksekliğin artması, federsiz parçaya göre deformasyon oranının %6 azaltmaktadır.

B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yarıçapta federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-3-a'da görülmektedir. Feder t = 1.35 mm ve α = 0.5˚ de sabit tutulmuştur. Yüksekliği ve yarıçapın değişimi deformasyon oranında çok etkili olmamış. En düşük deformasyon federin en yüksek yarıçapı r = 1,6 mm ve en büyük yükseklikteki h = 10,125 mm'de bulunmaktadır. Federli plastik parçada r = 1,6 mm olduğunda yüksekliğin artması federsiz parçaya göre deformasyon miktarını 1.83 mm' den 1,77 mm 'ye düşürerek deformasyon oranını %3,3 azaltmıştır.

B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 6;75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-3-b de görülmektedir, r = 0,8 mm de, t = 1,35 mm'de sabit tutulmuştur. Yüksekliğile açının değişimi deformasyon oranının değişiminde etkili olmamıştır. Plastik parça federsiz parçayla karşılaştırdığında deformasyon oranı değişmemektedir.

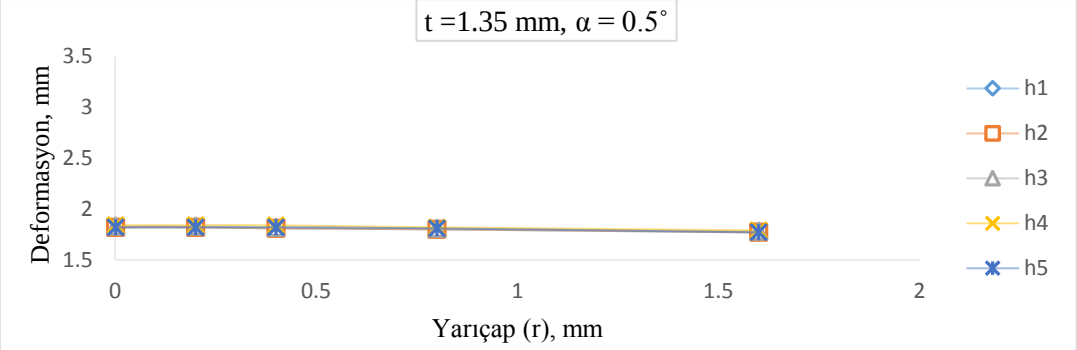


Şekil 5.9. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının deformasyon üzerinde etkisi

B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yükseklikte federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklardaki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.9'da görülmektedir. Bu grafikte feder yarıçapı r = 0,8 mm ve feder açısı α = 0.5^o olarak sabit tutulmuştur. B yüzünden uygulanan basınçta kalınlığıyla yüksekliğin artması deformasyon oranını etkilememiştir. Plastik parçada feder parametreleri t_5 kalınlığile h_5 yükseklikte olduğunda deformasyon miktarı 1,83 mm'den 1,74 mm'ye düşmüştür yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre %6 azalmaktadır.

B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-3-c'de görülmektedir. Burada, feder parametrelerinde feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla h = 4,5 mm ve α = 0,5^o olarak sabit tutulmuştur. En düşük deformasyon feder parametreleri r_5 yarıçap ve t_4 kalınlığında bulunmaktadır.bu parametrelerde Plastik parçada deformasyon miktarı 1,83 mm'den 1,77 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranı federsiz parçayla göre %3,3 azalmaktadır.

B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarında değişiminin deformasyon oranının üezerin etkisi EK-3-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Kalınlığıyla Açının değişimi, parçanın deformasyonunda etkili olmamıştır. En düşük deformasyona sahip olan plastik parça aynı parametredeki federsiz plastik parçaya göre deformasyon miktarı 1,83 mm'den 1,77 mm'ye düşerek deformasyon oranı %3 azalmaktadır.

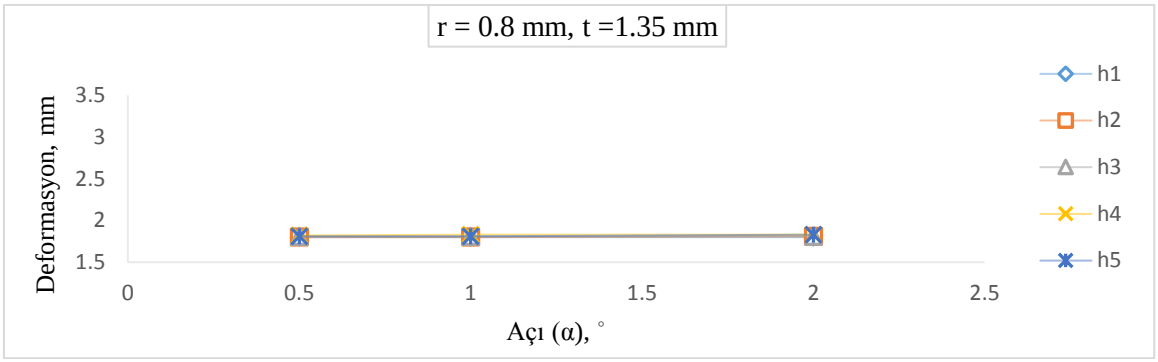


Şekil 5.10. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının deformasyon üzerinde etkisi

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.10'da görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 mm ve α = 0,5º olmak üzere sabit tutulmuştur.Yarıçapıyla yüksekliğin artması deformasyon oranında etkili değildi.plastik parçada feder parametreleri r_5 ve h_5 olduğunda deformasyon miktarı 1,83 mm'den 1,77 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %3,3 azalmaktadır.

B yüzeyinden uygulan basınçta farklı kalınlıklarda federin 0; 0,2; 0,4 ; 0,8; 1,6 mm yarıçaplarıda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi şekil EK-3-e'de görülmektedir. h = 4,5 mm ve α = 0.5º da sabit tutulmuştur. Yarıçpıyla kalınlığın değişimi deformasyon miktarında etkilie olmamış ancak feder kalınlığı t_5 olduğunda deformasyon oranı çok düşük de olsa azalmaktadır. En düşük deformasyon oranı feder parametreleri r_4 ve t_5 olduğunda bulunmaktadır. Bu parametreleder deformasyon miktarı 1,83 mm'den 1,77 mm'ye düşmüş yani federsiz parçaya göre deformasyon oranı %3,3 azalmaktadır.

B yüzeyiden uygulanan basınçta farkılı açılarda federin 0; 0,2; 0,4 ; 0,8; 1,6 mm yarıçaplarıda tasarımdaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-3-f'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik ve kalınlığın sırasıyla h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm olarak sabit tutulmuştur. Yarıçap ve açının artması deformasyon oranının değişiminde etkili olmamaktadır. Federli plastik parça federsiz parçayla karşılaştırdığında deformasyon oranı değişmemektedir.

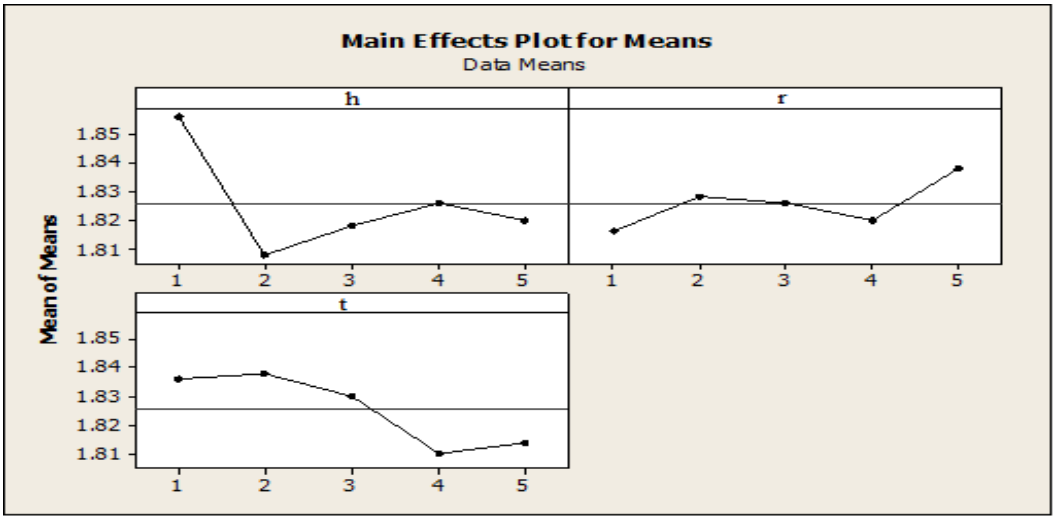


Şekil 5.11. B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının deformasyon üzerinde etkisi

B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5º; 1º ve 2º açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.13'de görülmektedir. Burada yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. Açıyla yüksekliğin değişimi deformasyon üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. Buna göre, feder yapısının çok etkili olmadığı ve federsiz parçayla karşılaştırdığında dikkate değer bir fark olmadığı görülmemektedir.

B yüzeyinden uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5º; 1º ve 2º açılarında deformasyon oranında etkisi EK-3-j'de görülmektedir. Feder parametreleri h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Feder açısıyla kalınlığın değişimi deformasyon oranında etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Plastik parçanın deformasyon miktarı 1,83 mm den 1,78 mm düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %3 düşürmüştür.

B yüzeyinden uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5º; 1º ve 2 º açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-3-h'de görülmektedir. Açıyla yarıçapın değişimi deformasyon oranında etkili olmamıştır. Plastik parçanın deformasyon miktarı 1,83 mm den 1,80 mm düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %1,5 azalmaktadır.



Şekil 5.12. B yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri

Feder parametrelerinin tümünün deformasyon üzerindeki etkisinin incelendiği Taguchi analizine ait grafik Şekil 5.12'de verilmiştir. Şekil 5.12 incelendiğinde B yüzeyinde uygulanan basınç için feder yüksekliği, feder dip kısımındaki yarıçap miktarı ve feder kalınlığının deformasyona etkilerinin anlamlı bir ilişki içerisinde olmadığı görülmektedir. En düşük deformasyon feder parametreleri h_2, r_1 ve t_4 de meydana gelmektedir. Bu parametrelerde federsiz parçaya göre deformasyon oranının sabit olduğu bulunmaktadır (1,83 mm'den 1,82 mm'ye düşmüş). En düşük deformasyon Taguchi yöntenmi ile yapılan analiz grafiğinde elde edimiş deformasyonundan yaklaşık %5,5 az oldığı görülmektedir. En düşük deformasyon t_5, r_4, t_5'te gerçekleşmiştir. Deformasyon miktarı 1,82 mm'den 1,72 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %6 azaldığı belirlenmiştir. Deformasyon miktarının en fazla değiştiği tasarımda deformasyon oranı %6 azalırken oluşan gerilme miktarının ise 31,81 MPa olduğu tespit edilmiştir.

B yüzeyinden uygulanan basınç için oluşan deformasyon miktarları federli parça ile fedesiz parça arasında ciddi bir değişim olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda üretilecek plastik parçanın kullanım yereine göre sadece B yüzeyinde bir yük veya kuvvet uygulanacak ise feder yapmanın fazla bir faydası olmadığı ve deformasyon miktarını kayde değer bir oranda iyileştirmediği belirlenmiştir. Ancak bu yorum sadece deformasyon miktarı ile ilgilidir. Çünkü feder yapılıp yapılmayacağına sadece deformasyon miktarları değil aynı zamanda oluşan gerilme miktarı da dikakte alınarak karar verilmektedir. B yüzeyinde uygulanan basınçta en yüksek deformasyon miktarının 1,82 mm den 1,87 mm'ye

yükseldiği tespit edilmiştir. Deformasyon miktarının en yüksek olduğu tasarımda 30,683 MPa'ile 36,34 MPa aralığında değişmektedir.

EK-1-c'de görüldüğü gibi feder parametreleri h = 10,125 mm, t = 0,6 mm, r = 0,2 mm ve $\alpha = 0{,}5^{o}$ olduğunda gerilme miktarı 36,34 MPa'da tespit edilmiştir. Bu durum dikkate alındığında feder parametrelerinin bazılarının plastik parça mukavemetine olumsuz etkisi olduğu ve akma dayanımının üzerinde gerelmeler oluştuğubelirlenmiştir. Akma dayanımının 35 MPa olduğu dikkate alındığında 1,87 mm'lık deformasyon miktarında gerilme oranını %3,8 artarak plastik parçanın bazı bölgelerinin kalıcı şekil değişikliğine uyradığı yani plastik parçanın o bölgesinin artık kalıcı olarak deforme olduğu belirlenmiştir.

EK-1-d'de B yüzeyinde uygulanan basınç ile yapılan analizde en uygun feder parametresiyle oluşan deformasyon mktarının 1,72 mm olduğu belirlenmiştir. Federsiz plastik parçanın deformasyon miktarınmında 1,82 mm olduğu dikkate alındığında yaklaşık %5,5 iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Bu deformasyon değerinin elde edildiği t_5, r_4, t_5'te ve $\alpha = 0{,}5^{o}$ parametrelerine sahip tasarımda ise gerilmenin 30,54 MPa değerinde kaldığı ve gerilmenin akma dayanımının altında olduğu belirlenmiştir. Bu parametreler ile yapılacak tasarımın gerilme oranı %12,7 düşerek en uygun olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizlere göre B yüzeyinden uygulanan basınç dikkate alındığında olabilecek en uygun paramelere sahip tasarımda deformasyon miktarının % 5,5 lik bir oranda iyileşme sağladığı ve gerilmenin de akma dayanımının altında kaldığı be nedele %5,5 lik artış tatmin edici bir iyileştirme ise feder yapmanın faydalı olacağı kanaati oluşmuştur. Ancak, uygulanan kuvvet ve plastik ürününü kullanım yerleri dikkate alındığında, feder yapısının mukavemet ve deformasyon üzerinde %5,5 lik iyileştirmenin önemli olmadığı düşünülürse ve yetersiz bulunursa feder yapmanın herhangi bir anlamı olmayacaktır. Hatta kalıpçılık açısından maliyetler artacak ve ürünün ağırlığı da gereksiz olarak artmış olacaktır.

5.1.5. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı $\alpha = 1^{\circ}$ sabit tutulmaktadır)

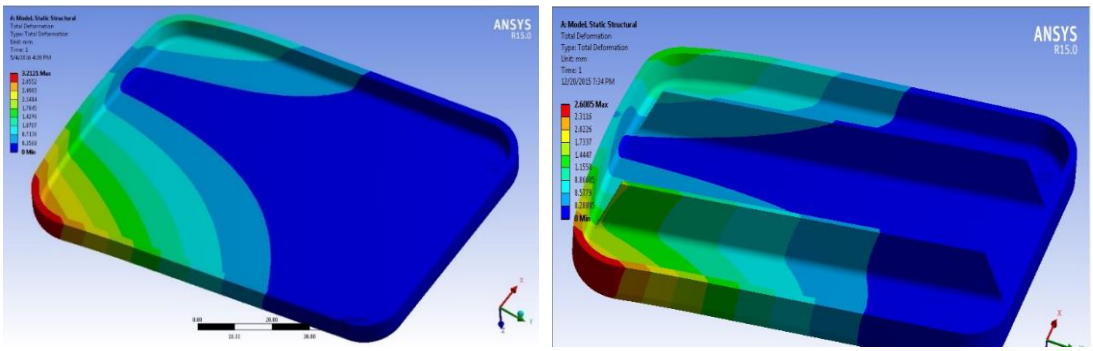
EK-1-c ve d'de belirlenmiş değerlere göre en yüksek deformasyon h = 10,125 mm, r = 0,001mm ve t = 0,6 mm olduğunda 1,87 mm'de görülmektedir. Deformasyon miktarı 1,83 mm'den 1,87 mm'ye artmış yani deformasyon oranı %2,1 artmaktadır. Bu tasarımda

oluşan gerilme 34,13 MPa'da belirmenmiş yani akmadayanım sınırını geçmemiş. Ancak h = 10,125 mm t = 0,4 mm ve r = 0,001 tasarımında deformasyon 1,86 mm'de belirlenmesine rağmen gerilme mktarı 38,25 MPa oluşmuştur. Yani bu parametrelerde B yüzeyinden uygulanan basınçta gerilme miktarı akma dayanımını geçerek plastik parçada belirli bölgelerde plastik davranışlar bulnmaktadır. Parçada plastik deformasyon değeri maksimum deformasyondan çok düşük olduğu görülmektedir, ancak plastik deformasyon kalıcılı olduğu için parçanın hasar görmesine yol açmaktadır. En düşük deformasyon feder parametreleri h = 10,125 mm, r = 0,8 mm ve t = 2,025 mm'te belirlenmiştir. Deformasyon miktarı 1,82 mm'den 1,73 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %5 azalmaktadır. Bu deformasyonda gerilme 32,66 mpa'da gerçekleşmiştir. Gerilme değeri akma dayanımın altında kaldığı içi parçada plastik davranışlar görülmemektedir. En yüksek ve en düşük deformasyon arasında %3,3 fark bulunmaktadır.

5.1.6. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı $\alpha = 2^{\circ}$ sabit tutulmaktadır)

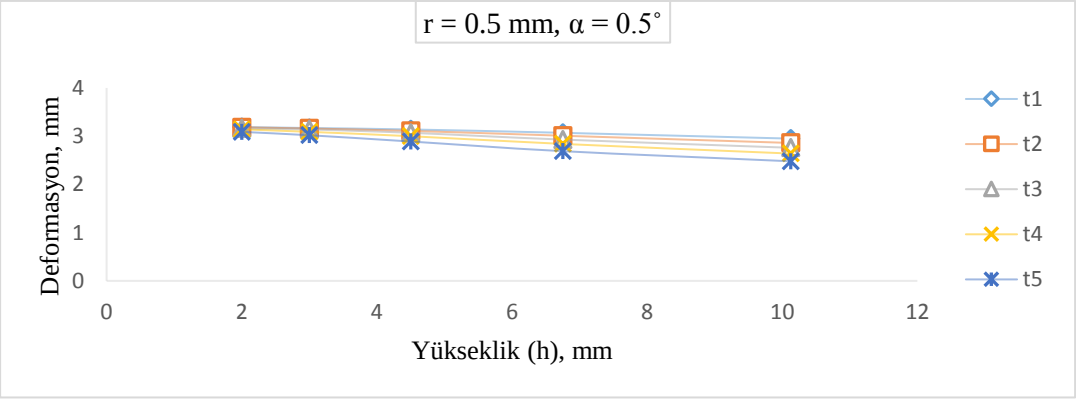
EK-1-c ve d'de verilen değerlere göre en yüksek deformasyon h=10,125 mm, r= 0,001 mm ve t = 0,9 mm olduğu tsarımda görülmektedir. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 1,83 mm'den 1,86 mm'ye artarak deformasyon oranı %1,6 artmaktadır. Gerilme miktarı 35 MPa'da 36,76 MPa'a artmış yani gerilme oranı %5 artmaktadır. Feder parametreleri h_5, r_1 ve t_3 olduğunda Gerilme miktarı plastik parçanın akma dayanımını geçerek en büyük gerilme oluşan bölgelerde kalıcı deformasyonun oluşmasını neden olmaktadır. En düşük deformasyon feder parametreleri h = 10,125 mm, r = 0,4 mm ve t = 2,025 mm olduğunda görülmektedir. Deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %4,5 azalmaktadır (1,83mm' den 1,75 mm'ye düşmüştür). Bu deformasyonda gerilme değeri 31,07 MPa'da gerçekleşmiştir. Gerile miktarı akma dayanımının altında kalmıştır dolayısıyla parçada plastik deformasyon görülmektedir.

5.1.7. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5° sabit tutulmaktadır)



Şekil 5.13. C yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları. a) Federsiz plastik parça, b) Federli plastik parça (h=10,125 mm, r=1,6 mm, t=1,35 mm, α=0,5 °)

Şekil 5.7'de verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada B yüzeyinden (kenar) uygulanan basınç sonucu oluşan deformasyon Çizelge 4.5'de verildiği gibi 3,21 mm yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımdaki deformasyon miktarının 2,60 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Federsiz parçada basınç uygulanan yüzeyde akma dayanımına denk gelen 35 MPa'lık gerilmenin oluşturduğu deformasyon miktarı feder oluşturulduğunda 3,21 mm den 2,60 mm ye düştüğü belirlenmiştir. Dolayısıyla deformasyon oranı %19 azalmaktadır.



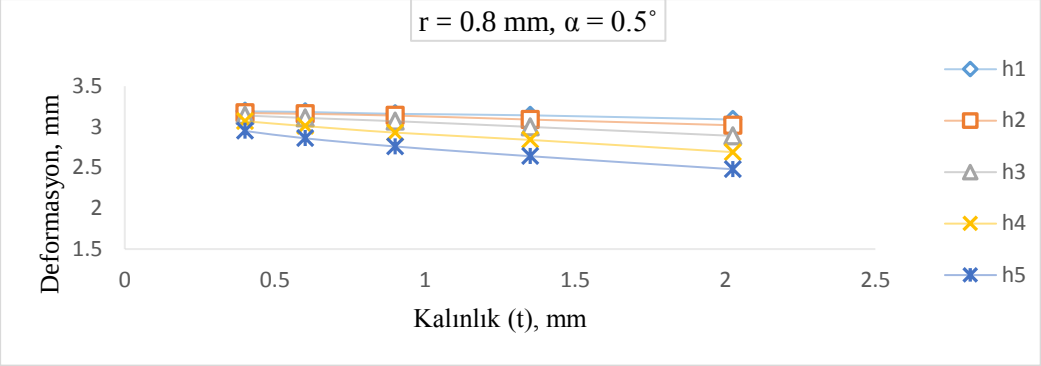
Şekil 5.14. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin yüksekliğinin deformasyon üzerinde etkisi

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.14'de

görülmektedir. feder r = 0,8 mm ve α = 0,5º sabit tutulmuştur. Federin Yüksekliğinin artarsa deformasyon oranı azalmaktadır.Yüksekliğile deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Kalınlık değişmesi de parçanın deformasyon oranını etkilemektedir, ancak yüksekliğe göre daha az bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. En düşük deformasyon 10,125 mm yüksekliği ve 2,025 mm parametrelerinde bulunmaktadır. Bu parametrelerde feder deformasyon miktarı 3,09 mm' den 2,48 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranını %20 azaltmaktadır. Plastik parçada feder parametreleri h5 ve t5 olduğunda deformasyon 3,21 mm den 2,48 mm düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %23 azalmaktadır.

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapta federin 2 ,3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-4-a'da görülmektedir. Feder t = 1,35 mm ve α = 0,5º de sabit tutulmuştur. Federin yüksekliğinin artması deformasyonu azaltmaktadır .Yüksekliğile deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ancak yarçapın değişimi deformasyonu oranını değişmemektedir. En düşük deformasyon feder parametreleri h_5 yüksekliği ve t_5 kalınlığında olduğu tasarımda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 3,09 mm dan 2,6 mm düşerek deformasyon oranı %16 azaltmaktadır. Bu parametrelerde plastik parçanın deformasyon oranı federsiz parçaya göre %19 azalmaktadır (3,12 mm'den 2,6 mm'ye düşmüştür).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 6;75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-4-b de görülmektedir, r = 0,8 mm de, t = 1,35 mm'de sabit tutulmuştur. Açının değişimi deformasyonda pek etkili olmamıştır ancak yükseklik 6,75 mm'den 10,125 mm'ye artırsa açının artması fedormasyonu çok az bile olsa artmaktadır. yüksekliğin artması deformasyonun azalmasında önemli rola sahiptir. Ayrıca yüksekliğile deformasyon arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu da tespit edilmiştir. Yüksekliğin artması deformasyon miktarını 3,14 mm' den 2,66 mm'ye düşürmüş yani deformasyon oranını %15 azaltmaktadır . En düşük deformasyonda plastik parçanın deformasyon oranı h = 10,125 ve α = 2º olduğunda federsiz parçaya göre %17 azalmaktadır (3,21mm' den 2,66 mm'ye düşmüştür).



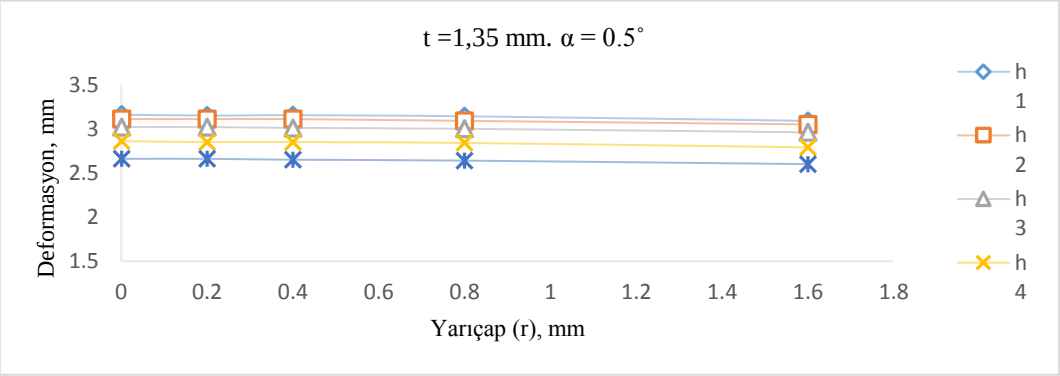
Şekil 5.15. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının deformasyon üzerinde etkisi

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklardaki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.15'de görülmektedir. Kalınlığın artması, deformasyonun azalmasına sebep olmuştur. Federin kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.Yükseklik arttıkça kalınlığın etkisi deformasyon üzerinde daha çok olmuştur. En düşük deformasyon feder parametreleri t_5 ve h_5 olduğunda görülmektedir. Feder yüksekliği h5 olduğunda kalınlığın artması deformasyon miktarını 2,95 mm den 2,48 mm düşürerek deformasyon oranını %16 azaltmaktadır. Plastik parçada t = 2,025 mm ve h =10,125 mm olduğunda en düşük deformasyon belirlenmiştir. Bu parametrelerde deformasyon oranı federsiz parçaya göre %33 azalmaktadır.(3,12 mm' den 2,48 mm'ye düşmüştür).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-4-c'de görülmektedir. Kalınlık artmasıyla deformasyonunun miktarı azalmaktadır . Ayrıca kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu tespit edilmişitr. Deformasyonun değişiminde yarıçapın etkisinin çok az olduğu da görülmektedir. En düşük deformasyon feder parametreleri t_5 ve r_3 olduğunda görülmektedir. Feder yarıçapı r_5 olduğunda kalınlığın artması deformasyon miktarını 3,13 mm'den 2,9 mm'ye düşürerek deformasyon oranını yaklaşık %7,5 azaltmaktadır. Plastik parçada feder kalınlığı t = 10,125 ve yarıçapı r = 0.4 olduğunda en düşük deformasyon belirlenmiş. Bu parametrelede deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %7 azalmaktadır (3,12 mm'den 2,9 mm'ye düşmüştür).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarında değişiminin deformasyon oranının üezerin etkisi EK-4-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Açının artması parçanın

deformasyonunda etkili olmamıştır, ancak feder kalınlığı t = 2,025 mm olduğunda açının birden ikiye artmasıyla deformasyon oranı %5 artmaktadır. Feder açısı α_2 olduğunda kalınlığın artması, deformasyon miktarını 3,18 mm'den 2,89 mm'ye düşürerek deformasyon oranı %9 azaltmaktadır. Feder parametreleri $\alpha = 0{,}5^o$ ve t = 2,025 mm olduğunda en düşük deformasyon meydana gelmektedir. Bu parametrelerde plastik parçada deformasyon oranı federsiz parçaya göre %10 azaltmaktadır (3,21 mm'den 2,98 mm'ye düşmüştür).



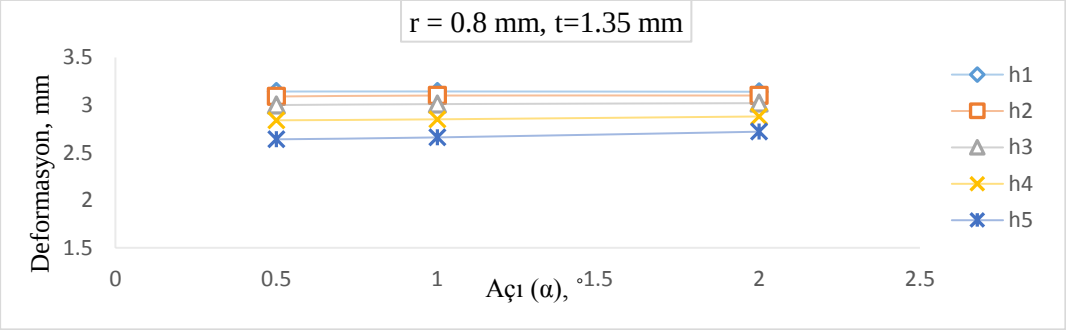
Şekil 5.16. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının deformasyon üzerinde etkisi

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.16'da görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 ve $\alpha = 0{,}5^o$ olmak üzere sabit tutulmuştur.Yarıçapın değişimi parçada deformasyon üzerinde etkisi çok az olduğundan dolayı en yüksek ile en küçük yarıçapta deformasyon miktarı yaklaşık aynıdır. Feder yüksekliği h5 olduğunda yarıçapın artması deformasyon miktarın 2,66 mm'den 2,6 mm'ye düşürerek deformasyon oranını %2 azaltmaktadır. Ayrıca bu parametrede yüksekliğin artması deformasyon oranını %16 azaltmaktadır (3,09 mm'dan 2,6 mm'ye düşmüş). En düşük deformasyonda yani feder parametreleri r = 1,6 mm ve h = 10,125 mm'de plastik parçanın deformasyon oranı federsiz plastik parçayla karşılaştırdığında %19 azalmaktadır (3,21 mm'den 2,6 mm'ye düşmüş).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda ve feder parametrelerinden h = 4,5 mm'de ve $\alpha = 0{,}5^o$ sabit olduğu ve feder yarı çaplarının 0, 0,2; 0,4; 0,8 ve 1.6 mm'deki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-4-e'de görülmektedir. Feder yarıçapın değişime parçada deformasyon üzerinde etkisi olmadığınan dolayı en yüksek ile en küçük yarıçapta deformasyon miktarını çok az değişmektedir. Deformasyon miktarı

3,02 mm' den 2,96 mm'ye düşürek deformasyon oranı %1,3 azalmaktadır. Kalınlığın artması deformasyon oranını %4,5 azaltmaktadır (3 mm'den 2,98 mm'ye düşmüş). Plastik parçada feder parametreleri r = 1,6 mm ve t = 2,025 mm oldugunda en düşük deformasyon görülmektedir. Bu parametrelerde deformasyon oranı federsiz parçaya göre %8 azalmaktadır (3,21mm'den 2,96 mm'ye düşmüş).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda tasarımdaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-4-f'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik ve kalınlığın sırasıyla h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm olarak sabit tutulmuştur. Feder Yarıçap ve açısı, deformasyon üzerinde etkil olmamıştır. Dolaysıla üç grafik aynı şekilde düz ve eğimsiz çizilmiştir ancak feder yarıçapı r_5 olduğunda deformasyon miktarı 3,02 mm'den 2,96 mm'ye düşerek deformasyon oranı %2 azarltmaktadır. En düşük deformasyonda plastik parçanın deformasyon oranı federsiz parçaya göre % 8 azalmaktadır (3,21 mm'den 2,96 mm'ye düşmüş).



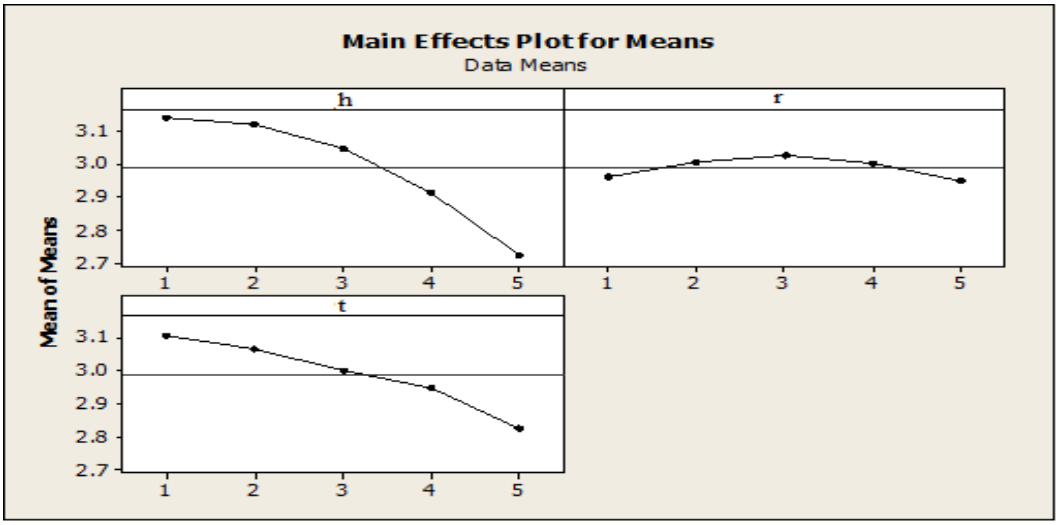
Şekil 5.17. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının deformasyon üzerinde etkisi

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5; 1 ve 2° açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.17'de görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. Feder Yüksekliği arttıkça açının artması deformasyonun artmaktadır. Feder yüksekliği h = 2 mm ve h = 3 mm olduğunda açının değişimi deformasyon oranında etkili olmamıştır ancak yükseklik h = 4,5 mm h = 6,75 mm ve h = 10,125 mm ulaşırken açının artması deformasyon miktarını artmaktadır. h = 10,125 mm olduğunda açınnın artması deformasyon miktarını 2,64 mm'den 2,72 mm'ye yükseltmekte olup deformasyon oranının %3 artması tespit edilmiştir. En düşük deformasyon feder h = 10,125 mm ve α = 0,5° olduğunda belirlenmiş. Bu parametrelerde

plastik parçada deformasyon miktarı 3,21 mm'den 2,64 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre %18 azalmaktadır.

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarında deformasyon oranında etkisi EK-4-j'de görülmektedir. Feder parametresi h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Feder kalınlığı t = 2,025 mm olduğunda açının artması deformasyon miktarını 2,89 mm den 3,04 mm'ye artırken deformasyon oranı oranını %5 artmaktadır. En düşük deformasyon feder parametreleri α = 0,5^o açı ve t = 2,025 mm kalınlığında görülmektedir. Bu parametrelerde plastik parçada deformasyon oranı federsiz parçaya göre %10 azalmaktadır (3,21mm'den 2,89 mm'ye düşmüş).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-4-h'de görülmektedir. Yarıçapın ilk dört değerinde açının artması deformasyon üzerinde etkili olmamıştır ancak 1,6 mm yarıçapında deformasyon miktarını azaltmaktadır. En düşük deformasyon federde r = 1,6 mm ve 2^o açıda olduğunda görülmektedir. Bu yarıçapta açının artması deformasyon miktarı 2,96 mm'dan 2,93 mm'ye düşerken deformasyon oranını %1 azaltmaktadır. En düşük deformasyon feder parametreleri r_5 ve α_2 olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde plastik parçada deformasyon oranı federsiz parçaya göre %9 azalmaktadır (3,21 mm'den 2,93 mm'ye düşmüş).



Şekil 5.18. C yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri

Feder parametrelerinin grafkleri incelendiğinde hangi feder parametresinin deformasyon miktarını ne kadar değiştirdiği tespit edilebilmektedir. Ancak feder parametrelerinin birlikte değerlendirerek hangi parametrenin deformasyonu ne kadar değiştirdiğinin belirlemek için Taguchi analizi yapılmıştır. Buna göre, feder açısı sabit olmak üzere feder yüksekliği (h), feder yarıçapı (r), feder kalınlığı (t)'nin deformasyon üzerinde etkilerinin Taguchi yöntem ile analizinin sonuçları Şekil 5.18'de verilmiştir. Şekil 5.18 incelendiğinde grafiklerin eğim miktarı ve değişim miktarlarına göre deformasyon üzerinde en büyük etkiye sahip parametrenin feder yüksekliği olduğu ikinci etken parametrenin feder kalınlığı ve üçüncü parametrenin ise feder diplerindeki yarıçap değerleri olduğu görülmektedir.

Şekil 5.22'de deformasyon üzerinde en büyük etki feder yüksekliğinin değişiminde tespit edilmiştir. Yüksekliğin artmasıyla deformasyonun azalması görünmektedir. yüksekliğin artması deformasyon oranını yaklaşık %15 azaltmaktadır. Feder Yarıçapının değişimi parçanın deformasyonunda etkisi az olsada artması deformasyon oranını artmaktadır. Yarıçap az oldüuğunda en düşük deformasyon görülmektedir. En çok artış r3 te tespit edilmiştir.yarıçapın artması deformasyon oranını yaklaşik %2,5 artmaktadır. Üçüncü grafiğin incelenmesinde kalınlığın deformasyon oranında etkili oldoğu görönmektedir. kalınlığın artmasıyla deformasyon oranı azalmaktadır ayrıca kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. En düşük deformasyon en yüksek kalınlıkta bulunmaktadır. Kalınlığın artması federin deformasyonunu %10 azaltmaktadır.

En düşük deformasyona h_5, r_5, t_5 testinde elde edilmiştir. federde yükseklik h = 10,125 mm ve yarıçap $\alpha = 0{,}4^0$ kalınlık t = 2,025 mm olduğunda deformasyon miktarı 3,21 mm den 2,5 mm düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %32 azalmaktadır. En düşük deformasyon Taguchi grafiğinde elde edilmiş deformasyonla yaklaşık aynıdır.

EK-1 e ve f 'de verilen analiz sonuçlarındaki en yüksek deformasyon değerlerinin gerçekleştiği feder parametrelerinin h_1, t_1 ve r_1 olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde deformasyon miktarının 3,2 mm olduğu belirlenmiştir. Bu deformasyon değeri federsiz plastik parçanın deformasyon oranı ile aynı olup federin etkisinin olmadığını göstermektedir. Ancak deformasyon miktarı aynı olmakla birlikte gerilme değerinin 35 MPa'dan 34,07 MPa'a düştüğü yani gerilme değerinde %3 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Yani federli parçanın en uygun olmayan parametreleri ile oluşamn deformasyonda iyileştirme olmamasına rağmen gerile değeri akma dayanımının altına

düştüğü için yine de federin az da olsa faydası olduğu görülmektedir. yani en yüksek deformasyonda kalıcı yerdeğişim görülmemektedir. Ancak, deformasyon ile gerilme miktarı arasında herhangi bir ilişki veya korelasyon olmadığı için bazı düşük deformasyonlarda gerilme miktarı akma dayanımı geçtiği belirlenmiştir. Feder parametreleri h_1, r_4 ve t_5 olduğunda feformasyon miktarı 3,14 mm olmasına rağmen gerilme miktarı 36,46 MPa olduğu belirlenmiş. Yani oluşan gerilme miktarı 35 MPa olan akma dayanımından %4,1 fazla olmuştur. Yani, h_1, r_4 ve t_5 feder parametreleri ile oluşturulan tasarımda feder parçanın mukavemetini olumsuz etkilemektedir.

En düşük deformasyon feder parametreleri t_5, r_4 ve t_5'te oluşmaktadır. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 3,21 mm'den 2,48 mm'ye düşmüştür. Buna göre deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık % 32,5 azalmış olup bu deformasyonda gerilme 28,68 MPa dır. En düşük deformasyonda gerilme miktarı 35 MPa'dan 28,68 MPa'a düşerek gerilme oranı %19 azalmıştır. Bu sonuçlara göre C yüzeyinden basınç uygulandığı durumda federin önemli derecede işlev gördüğü ve parçanın mukavemetine ciddi anlamda etkilediği belirlenmiştir.

5.1.8. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 1° sabit tutulmaktadır)

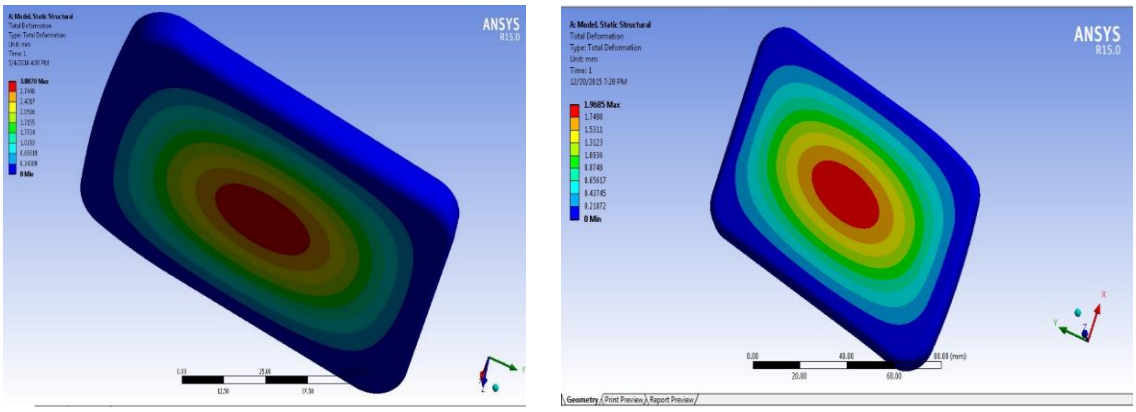
EK-1 e ve f 'de verilen değerlere göre en yüksek deformasyon feder parametreleri h= 2 mm, r = 0,001mm ve t = 0,4 mm'de belirlenmiş. Bu parametrede deformasyon miktarı federsiz parçayla yaklaşık aynıdır. Deformasyonda gerilme miktarı 34,07 MPa olduğu için plastik parçada kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. En düşük deformasyon feder parametreleri h = 10,125 mm, r = 0,2 mm ve t = 1,35 mm'te görülmektedir. Deformasyon miktarı 3,2 mm'den 2,49 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %22 düşmüştür. Bu parçada gerilme değeri 33 ,85 MPa tespit edilmiştir. gerilme miktarı 35 MPa'dan az olduğu için parçada sadece elastik davranışlar görülmektedir. En yüksek ve en düşük deformasyon arasında %23 farklı olduğu görülmektedir.

5.1.9. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (Açı α = 2° sabit tutulmaktadır)

EK-1 e ve f 'de bulunan değerlere göre en düşük deformasyon Taguchi grafiğile elde edilen deformasyonla aynı olduğu görülmektedir. En yüksek deformasyon 3,2 mm'de ve feder parametreleri h = 2 mm, r = 0,001 mm ve t = 0,4 mm- h = 2 mm, r = 0,2 mm ve t =

0,4 mm;-h = 2 mm, r = 0,4 mm ve t = 2 mm olduğunda görülmektedir. Bu testlede gerilme miktarı 35 MPa'lın altında kalmış yani plastik parçada kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. Ancak bu plastik parçanın bütün testlerde gerilmenin akma dayanımının altında kalmak anlamına gelmez. Daha düşük deformasyonda yani deformasyon miktarı feder parametreleri h = 3 mm r = 0,8 mm ve t = 0,4 mm olduğunda 3,18 mm'te grilme miktarı 37,81 MPa'da belirlenmiştir. Yani gerilme miktarı 2,81 MPa plastik parçanın akma dayanımından falza olmuştur. Dolayısıyla bu tasarımlarda gerilmenin maksimum olduğu bölgelerde elastik davranışlar görülmektedir. En düşük deformasyon feder parametreleri h = 10,125 mm,r = 0,8 mm ve t = 2,025 mm olduğunda görülmektedir. Bu tasarımda deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %20 azalmaktadır (3,21 mm'den 2,54 mm'ye düşmüştür). Bu deformasyonda gerilme miktarı 31,51 MPa olduğu için kalıcı deformasyon bulunmamaktadır. C yüzeyinden uygulanan basınçta $\alpha = 2^{o}$ olduğunda en yüksek ile en düşük deformasyon arsında %20 fark görülmektedir.

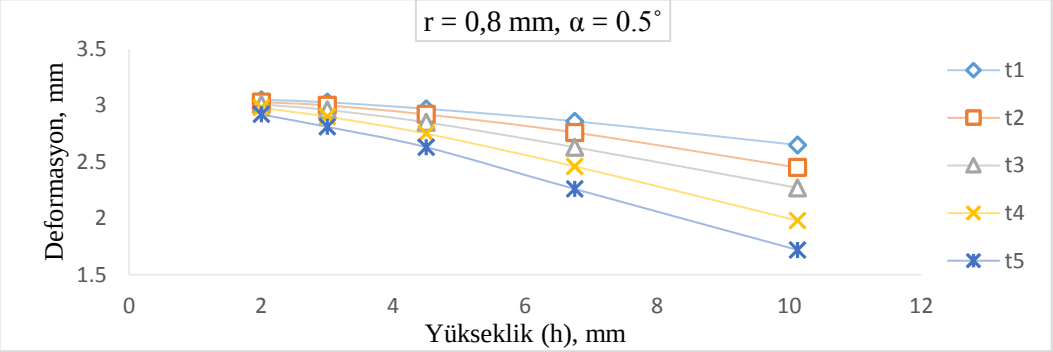
5.1.10. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 0,5° sabit tutulmaktadır)



Şekil 5.19. D yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları. a) Federsiz plastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, $\alpha = 0,5^{o}$)

Şekil 5.19'da verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada B yüzeyinden (kenar) uygulanan basınç sonucu oluşan deformasyon Çizelge 4.5'de verildiği gibi 3,21 mm yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının $0,5^{o}$ olduğu tasarımdaki deformasyon miktarının 1,96 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Federsiz parçada basınç uygulanan yüzeyde akma dayanımına denk gelen 35 MPa lık gerilmenin oluşturduğu deformasyon miktarı feder

oluşturulduğunda 3,21 mm'den 1,96 mm'ye düştüğü belirlenmiştir. Deformasyon oranının ise %39 azaldığı tespit edilmiştir.



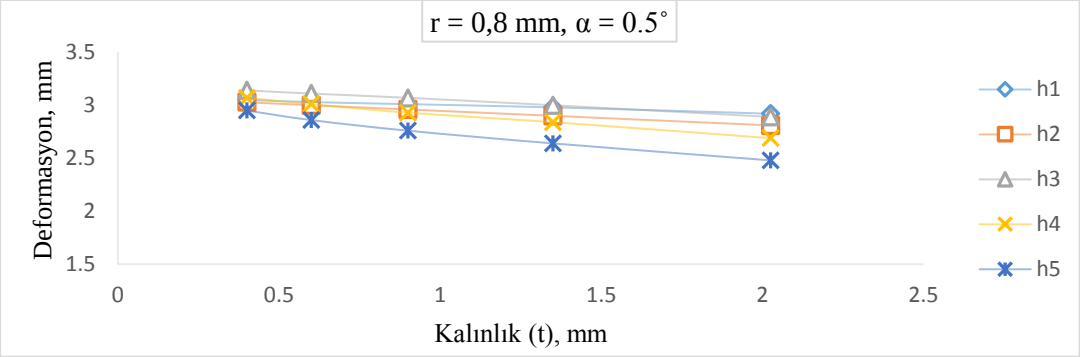
Şekil 5.20. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıkta federin yüksekliğin deformasyonda üzerinde etkisi

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.20'de görülmektedir. feder r = 0,8 mm ve α = 0,5^{o} sabit tutulmuştur. Federin yüksekliğinin artmasıyla deformasyon miktarı azalmaktadır. Yüksekliğile deformasyon arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Feder Kalınlığının artması da parçanın deformasyonunu azaltmaktadır, ancak feder yüksekliğine göre daha az bir etkiye sahiptir. En düşük deformasyon feder parametreleri h5 yüksekliği ve t_5 kalınlığında meydana gelmektedir, t_5 kalınlığında yüksekliğin artması deformasyon miktarı 2,92 mm'den 1,72 mm'ye düşürerek, deformasyon oranını %41 azaltmaktadır. Yani plastik parçada federin üyksekliği et kalınlığın 5 katı ve kalınlığı et kalınlığıyla eşit olduğunda deformasyon oranının %41 azalmıştır. Ayrıca feder parametreleri h_5 yükseklikte ve t_5 kalınlığında olursa, plastik parçanın deormasyonu oranı federsiz parçaya göre %44 azalmaktadır (3,08 mm'den 1,72 mm'ye düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapta federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-5-a'da görülmektedir. Feder t = 1.35 mm ve α = 0.5^{o} de sabit tutulmuştur.Yüksekliğin artmasıyla deformasyonun miktarı azalmaktadır. Ancak yarıçapın artması parçanın deformasyonunda etkili olmamıştır. 5 farklı yarıçapta deformasyon yaklaşık sabittir. En çok yükseklik, en düşük deformasyona sebep olmuştur. En düşük deformasyon feder h_5 kalınlık ve r_5 yarıçapta olduğunda görülmektedir. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 2,93 mm 'den 1,96 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranı %3 2 azalmaktadır. En düşük deformasyonda

Plastik parçanın deformasyonu federsiz plastik parçaya göre yaklaşık %36 azalmaktadır (3,10 mm'den 1,89 mm'ye düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 6;75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-5-b de görülmektedir, r = 0,8 mm de, t =1,35 mm'de sabit tutulmuştur. Açının değişimi deformasyonda çok az etkili olmıştır ancak yüksekliğin artması deformasyonu azaltmaktadır. Ayrıca yükseklğile açı arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu da tespit edilmiştir. Yükseklik arttıkça, açının artması deformasyon miktarını az da olsa artmaktadır. En düşük deformasyonda yani feder yüksekliği h = 10,125 mm ve feder açısı α = 0,5˚ olduğunda deformasyon miktarı 2,98 mm'den 2,17 mm'ye düşerek deformasyon oranı %27 azaltmaktadır. Feder parametreleri h5 ve α1 olduğunda Plastik parçanın deformasyonu federsiz parçaya göre %30 azalmaktadır (3,08 mm'den 2,17 mm'ye düşmüştür).



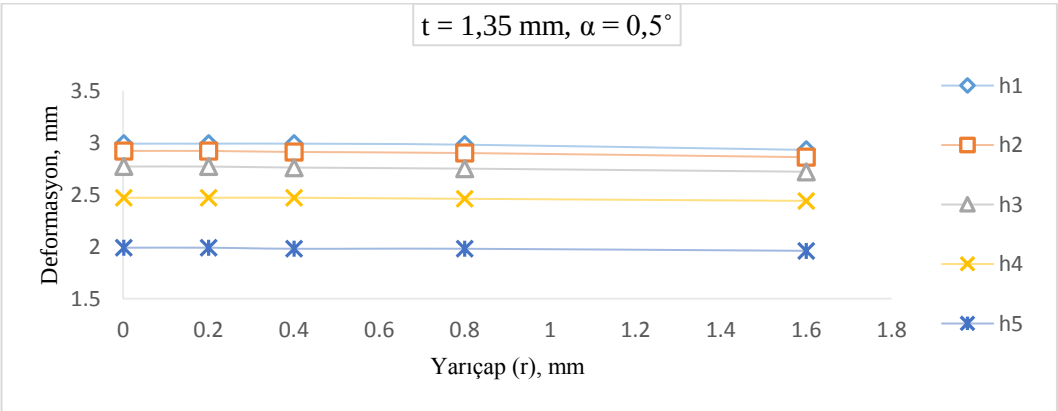
Şekil 5.21. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının deformasyonda üzerinde etkisi

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklardaki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.21'de görülmektedir. Kalınlığın artması, deformasyonun azalmasına sebep olmuştur. Kalınlığın artmasıyla deformasyon miktarı azalmaktadır. Kalınlığıyla deformasiyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmektedir.Yükseklik arttıkça kalınlığın etkisi deformasyon üzerinde daha çok olduğu ve en düşük deformasyon en yüksek kalınlık ve yükseklikte görülmektedir. Feder yüksekliği h_5 olduğunda kalınlık artması deformasyon oranını yaklaşık %30 azaltmaktadır. Yani plastik parçada federin kalınlığı et kalınlığıyla eşit ve yükseklik et kalınlığın 5 katı olduğunda deformasyon miktarı 2,65 mm'den 1,72 mm'ye düşerek deformasyon oranı %30 azalmaktadır. Feder parametreleri t_5 ve h_5 olduğunda

plastik parçanın deformasyon miktarı 3,08 mm den 1,72 mm düşmüş yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre %43,5 azalmaktadır.

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-5-c'de görülmektedir. EK-4-c de verilen Şekilde görüldüğü gibi Kalınlık artmasıyla deformasyonun miktarı azalmaktadır . Ayrıca arlarında doğrusal bir ilişki var olduğu tespit edilmişitr. Deformasyonun değişiminde yarıçapın etkisinin çok az olduğu da görünmektedir. En düşük deformasyonda yani Feder parametreleri t_5 kalınlığı ve r_4 yarıçapta olduğunda deformasyon miktarı 2,97 mm'den 2,63 mm'e düşerek deformasyon oranında yaklaşık %10 düşüş görülmektedir. En düşük deformasyonda plastik parçanın deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %15 azalmaktadır (3,08 mm'den 2,63 mm'ye düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarında değişiminin deformasyon oranının üezerin etkisi EK-3-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Açının değişimi, parçanın deformasyonunda etkili olmamış, ancak açı 2 olduğunda kalınlığın 1,35 mm den 2,025 mm artmasıyla deformasyonu miktarını 2,63 mm den 2,43 mm artmaktadır dolayısıyla deformasyon oranı %6 artmaktadır. Ayrıca feder açısı $0{,}5^o$ ve 1^o olduğunda kalınlığın artması, deformasyonun miktarını 2,93 mm'den 2,63 mm'ye düşürerek deformasyon oranını yaklaşık %12 azaltmaktadır. En düşük deformasyon t = 2,025 mm ve α = 0,5°'de tepit edilmiştir. Bu parametrelerde plastik parçanın deformasyon oranı federsiz parçaya göre %15 azalmaktadır (3,08 mm'den 2,63 mm'ye düşmüştür).

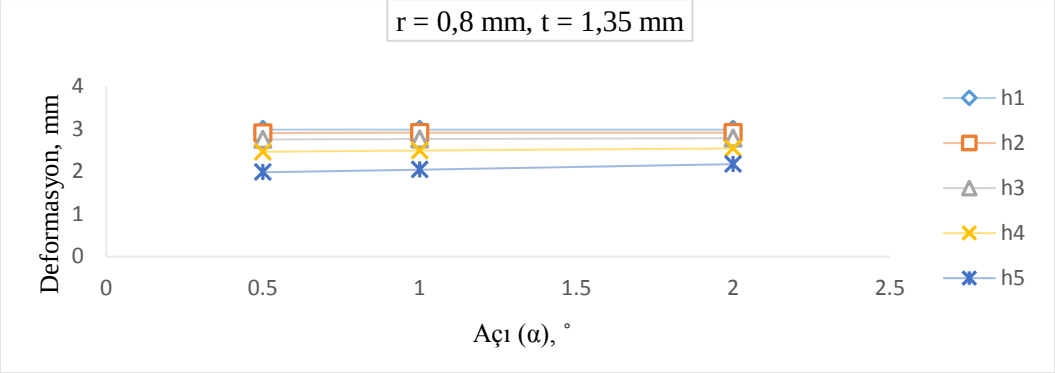


Şekil 5.22. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının deformasyon üzerinde etkisi

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarında değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5-22'de görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 ve $\alpha = 0{,}5^{o}$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Federin yarıçapın değişime parçada deformasyon üzerinde etkisi çok az olduğu için en yüksek ile en küçük yarıçapta deformasyon miktarı yaklaşık sabittir. En düşük deformasyon h = 10,125 mm yüksekliğinde ve r = 1,6 mm yarıçapında görülmektedir. Feder yüksekliği h5 olduğunda yarıçapın artması deformasyon miktarını 1,99 mm den 1,96 mm'ye düşürerek deformasyon oranını %2,5 azaltmaktadır. Feder yüksekliği h = 10,125 ve yarıçapı r = 1,6 mm olduğunda en düşük deformasyon tespit edilmiştir. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 3,08 mm'den 1,96'ye düşmüştür, yani deformasyon oranı %36,3 azalmaktadır. Ayrıca federin yüksekliğin artması deformasyon oranını yaklaşık %32 azaltmaktadır (2,93 mm'den 1,96 mm'ye düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda ve feder parametrelerinden h = 4,5 mm'de ve $\alpha = 0{,}5^{o}$ sabit olduğu ve feder yarı çaplarının 0, 0,2; 0,4; 0,8 ve 1.6 mm'deki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-5-e'de görülmektedir.Yarıçapın artması deformasyon üzerinde etkili olmamıştır. dolayısıyla en yüksek ile en küçük yarıçapta deformasyon miktarı 2,63 mm'de sabittir. En düşük deformasyon feder parametreleri t_5 ve r_4 olduğunda görülmektedir. Bu parametrelerde plastik parçada deformasyon miktarı 3,08 mm'den 2,63 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %15 azalmaktadır. Ayrıca Feder yarıçapı r = 0,8 olduğunda Kalınlığın artması deformasyon oranının %11 düşürmektedir (2,98 mm'den 2,63 mm'ye düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farkılı açılarda federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda tasarımdaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-5-f'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik ve kalınlığın sırasıyla h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm olarak sabit tutulmuştur. Yarıçapıyla açı, deformasyon üzerinde etkili olmadıkları görülmektedir. dolaysıla 3 grafik aynı şekilde düz ve eğimsiz çizilmiştır deformasyon miktarı 2,77 mm'de tespit edilmiştir. Plastik parçanın deformasyonu miktarı 3,08 mm'den 2,72 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre %12 azalmaktadır.

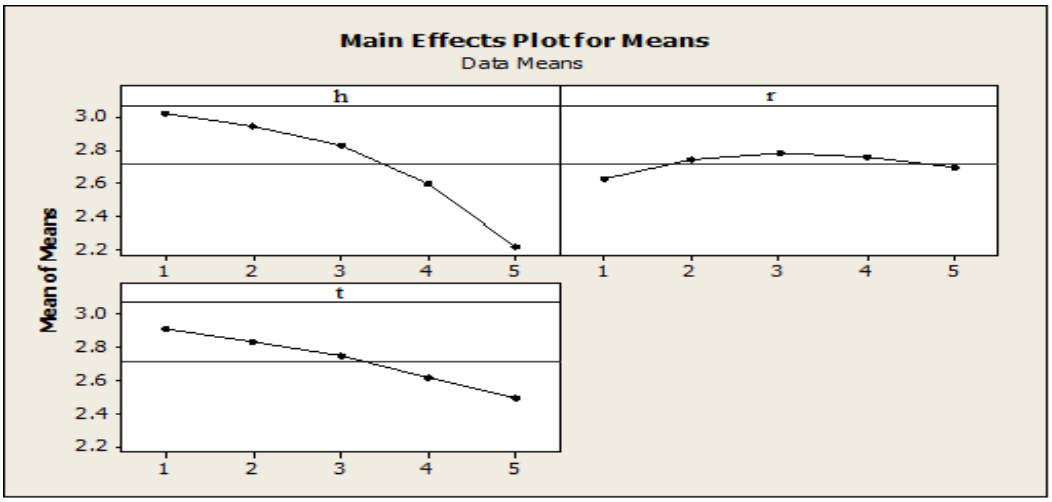


Şekil 5.23. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının deformasyon üzerinde etkisi

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.23'de görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t =1,35 mm sabit tutulmuştur. Yükseklik arttıkça açının artması deformasyon miktarını artmaktadır. Feder yüksekliği h =2 mm ve h = 3 mm olduğunda açının artması deformasyon üzerinde etkili olmamış ancak yükseklik h = 4,5 mm h = 6,75 mm ve h= 10,125 mm olduğunda açının artması deformasyon miktarını 1,98 mm'den 2,17 mm'ye artmış yani deformasyon oranı %10 artmaktadır. En düşük deformasyon feder h5 yüksekliğinde ve α1 açıda olduğunda tespit edilmiş. En düşük deformasyona sahip olan plastik parçada deformasyon miktarı 3,1 mm'den 1,98 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %36 azalmaktadır. Feder α= 0,5˚ açıda yüşsekliğin artmasıyla deformasyon oranı %33 azaltmaktadır (2,98 mm'den 1,98 mm'ye düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarında deformasyon oranında etkisi EK-5-j'de görülmektedir. Feder parametresi h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Federkalınlığı t = 2,025 mm olduğunda açının 0,5˚ ten 1˚ artması deformasyon üzerinde etkile olmamıştır. Ancak açının 1^o den 2^o ye artması deformasyon miktarını 2,63 mm'den 2,8 mm'ye artarken yani deformasyon oranını yaklaşık %6,5 artmaktadır. Kalınlığın artması deformasyon oranını azaltmasıda etkili olduğu görülmektedir. Feder parametreleri t_5 kalınlık ve α_1 açıda olduğunda en düşük deformasyon tespit edilmiştir. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 3,08'den 2,63'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %16,7 azalmaktadır. Ayrıca feder açısı α = 1^o de sabit olduğunda kalınlığın artması deformasyon miktarı 2,97 mm den 2,63 mm düşerek deformasyon oranı %12,5 azalmaktadır.

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5; 1 ve 2º açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-5-h'de görülmektedir. feder h = 4.5 mm ve t = 1,35 mm de sabit tutulmuştur. Yarıçapın ilk dört değerinde açının değişimi deformasyon üzerinde etkili olmamış ancak r = 1,6 mm yarıçapında açı 1º'den 2º'ye artması deformasyonu azaltmaktadır. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 2,72 mm'den 2,66 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranı 2% azalmaktadır. En düşük deformasyon r_5 yarıçap ve α_3 açıda görülmektedir. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 3,08 mm den 2,66 mm düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %13 azalmaktadır. Plastik parçada deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %15 azalmaktadır (3,08 mm den 2,63 mm).



Şekil 5.24. D yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri

Feder parametrelerinin grafkleri incelendiğinde hangi feder parametresinin deformasyon miktarını ne kadar değiştirdiği tespit edilebilmektedir. Ancak feder parametrelerinin birlikte değerlendirerek hangi parametrenin deformasyonu ne kadar değiştirdiğinin belirlemek için Taguchi analizi yapılmıştır. Buna göre, feder açısı sabit olmak üzere feder yüksekliği (h), feder yarıçapı (r), feder kalınlığı (t)'nin deformasyon üzerinde etkilerinin Taguchi yöntem ile analizinin sonuçları Şekil 5.24'te verilmiştir. Şekil 5.24'ü incelendiğinde grafiklerin eğim miktarı ve değişim miktarlarına göre deformasyon üzerinde en büyük etkiye sahip parametrenin feder yüksekliği olduğu ikinci etken parametrenin feder kalınlığı ve üçüncü parametrenin ise feder diplerindeki yarıçap değerleri olduğu görülmektedir.

Şekil 5.24'de deformasyon üzerinde en büyük etki feder yüksekliğinin değişiminde tespit edilmiştir. Yüksekliğin artmasıyla deformasyonun düşüşü görülmektedir. Yüksekliğin artması deformasyon oranını yaklaşık %33 azaltmaktadır. Feder yarıçapının değişimi parçanın deformasyonunda etkili az olsada artması deformasyon oranını artmaktadır. Yarıçap az oldüuğunda en düşük deformasyon görülmektedir. En çok artış yarıçap r_3, r = 0,4 mm'de olduğunda tespit edilmiştir. Federin yarıçapın artması deformasyon oranını yaklaşik %3,5 artmaktadır. Üçüncü grafiğin incelenmesinde feder kalınlığın deformasyon oranında etkili oldoğu görönmektedir. Plastik parçada kalınlığın artmasıyla deformasyon oranı azalmaktadır ayrıca kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. En düşük deformasyon en yüksek kalınlıkta meydana gelmektedir. Feder Kalınlığının artması plastik parçanın deformasyonunu %14 azaltmaktadır. En düşük deformasyona feder parametreleri $h_5r_1t_5$ olduğunda bulunmaktadır.Feder yüksekliği h = 10,125 mm ; yarıçap r = 0,4 mm ve kalınlığı t = 2,025 mm olduğunda deformasyon miktarı 3,08 mm'den 1,73 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %44 azalmaktadır. En düşük deformasyon Taguchi grafiğinde edildiği deformasyonunla yaklaşık aynıdır.

EK-1 g ve h'de verildiği değerlere göre en yüksek deformasyon h = 3 mm, r = 0,001 mm ve t = 0,4 mm'deki feder parametrelerinde tespit edilmiştir. Deformasyon miktarı 3,08 mm'den 3,17 mm'ye artarak deformasyon oranı yaklaşık %3 artmaktadır. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 35,86 MPa'a artarak gerilme oranı %2,45 artmaktadır. Yani bu parametrelerde federin etkisi plastik parçanın mukavemetini olumsuz etkilemiştir. Gerilme değerlerinin en yüksek olduğu yerlerde gerilme akma dayanımı geçmiş olup kalıcı deformasyon oluştuğu ve plasitk parçanın kullanılamaz hale geleceği öngörülmüştür.

D yüzeyinde uygulanan basınç ile yapılan analizde oluşan en düşük deformasyon h_5, r_4 ve t_5 parametreleri ile yapılan tasarıdma olduğu tespit edilmiştir. Bu tasarım da deformasyon miktarı 3,08 mm'den 1,72 mm'ye düşmüş olup, deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %44,1 azalmıştır. Bu deformasyonda gerilme miktarının ise 21,57 MPa olduğu belirlenmiştir. Bu parametrede gerilme oranı federsiz parçaya göre %38,3 azalmaktadır.

5.1.11. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (açı α = 1° sabit tutulmaktadır)

EK-1 g ve h'de verilen değerlere göre en yüksek deformasyon feder parametreleri h = 2 mm , r = 0,001 mm ve t = 0,4 mm olduğunda belirlenmiş. Bu parametrelerde deformasyon miktarı 3,08 mm'den 3,06 mm'ye düşerek deformasyon oranı %6 azalmaktadır. Bu tasarımda gerilme miktarı 35,01 MPa'da tespit edilmiştir. Gerilme miktarı çok az olsada akma dayanımını geçmektedir. En düşük deformasyon feder parametreleri h = 10,125 mm ,r = 0,8 mm ve t = 2,025 mm'te gerçekleşmiştir. Deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %43,5 azalmaktadır (3,08 mm'den 1,76 mm'ye düşmüştür). Bu deformasyonda gerilme 21,69 MPa 'da tespit edilmiştir. Gerilm değeri akma dayanımını altına düştüğü içi paçada sadece elastik deformasyon gerçekleşmektedir. En yüksek ile en düşük deformasyon arasında %37,5 fark bulunmaktadır.

5.1.12. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan deformasyon miktarları (Açı α = 2° Sabit Tutulmaktadır)

EK-1 g ve h'de verilen deformasyon değerlerine göre en yüksek deformasyon feder parametreleri h = 2 mm, r = 0,001 mm ve t = 0,4 mm olduğunda belirlenmiştir. Bu tasarımda deformasyon miktarı 3,08 mm'den 3,06 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre değişmemektedir. Ancak bu tasarımda oluşan 35,7 MPa gerilme, akma dayanımını geçtiği için plastik parçada gerilme maksimum olduğu yerlerde plastik davranışlar bulunmaktadır. Bu yerlede deformasyon değeri parçanın oluşan diğer deformasyonlara değerlerinden az olmasına rağmen kalıcı olarak meydana gelmektedir. En düşük deformasyon feder parametreleri h = 10,125 mm, r = 0,8 mm ve t = 2,025 mm olduğunda görülmektedir. Deformasyon miktarı 3,08 mm'den 1,85 mm'ye düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %40 azalmaktadır. Bu deformasyonda gerilme 21,84 mpa olduğu için plastik parçada kalıcı deformasyon bulunmamaktadır. D yüzeyinden uygulanan basınçta $\alpha = 2^{o}$ olduğunda en yüksek ile en düşük deformasyon arsında %39 fark görülmektedir.

Şekil 5.1- Şekil 5.9- Şekil 5.17- Şekil 5.25 de verilen resimlerde görüldüğü gibi deformasyon miktarlarının federli ve federsiz plastik parçalardaki değişimleri verilmiştir. Her bir yüzeye uygulanan basınç için sadece bir tasarım için verilen bu değerler toplam 345 farklı tasarım için de gerçekleştirilmiştir (Ek-1). Deformasyon analizine göre federli ve federsiz plastik parçada daformasyon dağılımının benzer ancak deformasyon oranlarının

farklı olduğu belirlenmiştir. Deformasyon tipinin ve modelinin aynı olması uygulanan yükün aynı olması ve plastik ürünün ana geometrisinin aynı olmasına bağlı olduğu ancak değerlerin değişimesinin ise feder yapısna göre değiştiği düşünülmektedir. Bir plastik ürünün mukavemeti deformasyon dağılımı ve şekline değil defromayon miktarına bağlıdır. Çünkü deformasyon oranı akma dayanımının üstündeki bir miktar ise plastik üründe kalıcı şekil değişikliği olmuş demektir. Bu da o ürünün bir daha kullanılamayacağı anlamına gelmektedir.

Deformasyon oranının basıncın uygulandığı yüzeye bağlı olarak oluşan en büyük ve en küçük deformasyon değerleri Çizelge 5.1'de verilniştir.

Çizelge 5.1. Federli plastik parçada tespit edilen en büyük ve en küçük deformasyon miktarları

Basıncı uyglandığı yüzey	Federsiz parçadaki deformasyon miktarı	En büyük deformasyon miktarı, mm	Değişim oranı, %	En küçük deformasyon miktarı, mm	Değişim oranı, %
A	3,10	3,07	-1,0	1,75	-43,5
B	1,83	1,87	+1,1	1,72	-6,0
C	3,21	3,2	-0,3	2,48	-22,7
D	3,08	3,17	+2,9	1,72	-44,2

Federli parçada A yüzeyinden (ön yüzey) uygulanan basınçta en düşük deformasyon federin h= 10,125 mm, r = 0,8 mm, t = 0,9 mm ve $\alpha = 2^o$ olduğu tasarımda deformasyon miktarı 1,75 mm ve en yüksek deformasyon ise h = 2 mm, r = 0,4 mm, t = 0,6 mm ve $\alpha = 0{,}5^o$ olduğu tasarımda 3,07 mm olduğu tespit edilmiştir. Federlerin etkisi parçanın deformasyon oranının azaltmasında %44,5 ile %1 aralığında görülmektedir. En düşük ve en yüksek deformasyonda gerilme değerinin sırasıyla 31,81 MPa ve 36,03 MPa'da olduğu belirlenmiştir. En düşük deformasyonda gerilme oranı 9% azalmakta ve en yüksek deformasyonda gerilme oranı %1,5 artmaktadır.

B yüzeyinden (kenardan) uygulanan basınçta en düşük deformasyon 1,72 mm ve en yüksek deformasyonun ise 1,87 mm olduğu belirlenmiştir. B yüzeyindeki bu analizde en düşük deformasyonun elde edildiği analiz feder parametresi sırasında Çizelge 4.2'de verilen h_5, r_4, t_5, ve α_1 sıralamasında verilen parametrelere göre tasarlanan plastik parçada olduğu belirlenmiştir. B yüzeyinden uygulanan basınç için feder tasarımın parametrelerinde en düşük deformasyon Çizelge 4.2'de verilen parametrik tasarımda h_5, r_4, t_5, α_1 ve verilen h_5,

r_2, t_2 ve α_2 kodlu tasarımda, en yüksek deformasyonun olduğu tespit edilmiştir. Buna göre federlerin etkisi plastik parçanın deformasyon oranını %6 azaltması ve %1,1'de artırdığı belirlenmiştir. Normal şartlarda federin deformasyon oranını artırması beklenen bir durum değildir. Ancak uygulanan basınç karşısında zayıf yapılı feder diplerindeki yer değiştirme miktarının beklenenden çok çıkması ile izah edilebilir. B yüzeyinde uygulanan basınç sonucu oluşan en düşük ve en yüksek deformasyon miktarlarındaki maksimum gerilme değerleri ise sırasıyla 30,54 MPa ve 36,34MPa' olduğu görülmektedir. Buna göre deformasyonun en düşük olduğu analizde gerilme değeri %13 azalırken deformasyonun en yüksek olduğu tasarımda ise gerilme değerinin %3,8 artması tespit edilmiştir.

C yüzeyinden (köşeden) uygulanan basınçta en düşük deformasyon h_5, r_4, t_5, ve α_1 tasarımında 2,48 mm ve en yüksek deformasyonse h_1, r_1, t_1, ve α_1 tasarımında 3,2 mm olarak gerçekleşmiştir. C yüzeyinden uygulanan basınç dikkate alındığında deformasyon oranının %22,5 ile %0,32 oranında azldığı tespit edilmiştir. C yüzeyine uygulanna basınçta deformasyon oranınındaki düşüşün en yüksek olduğu tasarımda oluşan gerilme miktarının 28,26 MPa olduğu buna göre federsiz parçaya göre gerilmenin %19 azaldığı görülmektedir. Deformasyon oranının en yüksek çıktığı yani deformasyonda azalmanın %0,32 ile en düşük olduğu tasarımda gerilme değerinin 34,07 MPa olduğu ve gerilme miktarının federsiz parçaya göre %3 azaldığı belirlenmiştir.

D yüzeyinden (arkadan) uygulanan basınç ile yapılan analizlerde en düşük deformasyon 1,72 mm ve en yüksek deformasyon ise 3,17 mm olarak belirlenmiştir. En düşük deformasyon h_5, r_4, t_5 ve α_1 ile verilen tasarımda gerçekleşmiş iken en yüksek deformasyon ve h_2, r_1, t_1 ve α_1 ile tanımlanmış tasarımda gerçekleşmiştir. Buna göre D yüzeyinde uygulanan basınç altın yapılan analizlerde federlerin deformasyon miktarını %44,5'e kadar azaltmıştır. Bazı tasarımlarda ise %3 oranında deformasyon miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Deformasyon miktarının en çok azaldığı tasarımda oluşan gerilme miktarının 21,57 MPa olduğu deformasyon miktarında artış olduğu tasarımda ise gerilme değerinin 35,68 MPa olduğu belirlenmiştir. Plastik parçaya uygulanan gerilmelerin en krıtik olduğu arka yüzeyden uygulanan basınç ile yapılan analizlerde en düşük deformasyonun olduğu analizde elde edilen gerilme değeri %38,7 azalırken deformasyonun en yüksek çıktığı analizde ise gerilme değerinin %2 arttığı belirlenmiştir.

Yapılan 345 farklı tasarım için yapılan analiz sonuçlarının en büyük ve en küçük değişim miktarları Çizelge 5.1 de verilmiştir. Buna göre, deformasyon miktarındaki değişimin en yüksek olduğu basınç yüzeyin D yüzeyi olup değişim miktarı %44,2 dir. Bu yüzeyden yapılan analizlerde deformasyon oranında %44,2 lik azalma olurken aynı yüzeyden yapılan analizlerde %2,9 luk artışın olduğu da tespit edilmektedir. En fazla deformasyondaki değişimin en fazla olduğu ikinci basınç yüzeyi ise A yüzeyi olup önden uygulanan basıç yüzeyidir. Burada ise deformasyon miktarında %43,5 lik azalma olurken en düşük azalma oranının %1 olduğu görülmektedir. A yüzeyinden uygulanan basınçlarda federin deformasyon üzerinde olumsuz herhangi bir etkisi tespit edilmemiştir. Deformasyon miktarındaki en düşük değişimin B yüğzeyinde uygulanan basınç sonucu oluştuğu belirlenmiştir. Bu yüzeyden yapılan basınç sonucunda %1,1 lik bir artışın olduğu da görülmektedir.

Sonuç olarak yapılan tasarımlarda her ne kadar deformasyon miktarlarının azalmadığı tasarımlar olsa da uygulanan basınç karşısında oluşan gerilme miktarlarının azaldığı anlaşılmaktadır. Böylece deformasyon üzerinde etkisinin az olduğu tasarımlarda bile gerilmelerde düşüşler olması dikkate alındığında federlerin parça mukavemetine etkisinin göz ardı edilemez olduğu anlaşılmaktadır.

5.2. Basınca Bağlı Olarak Gerçekleşen Gerilme Miktarları

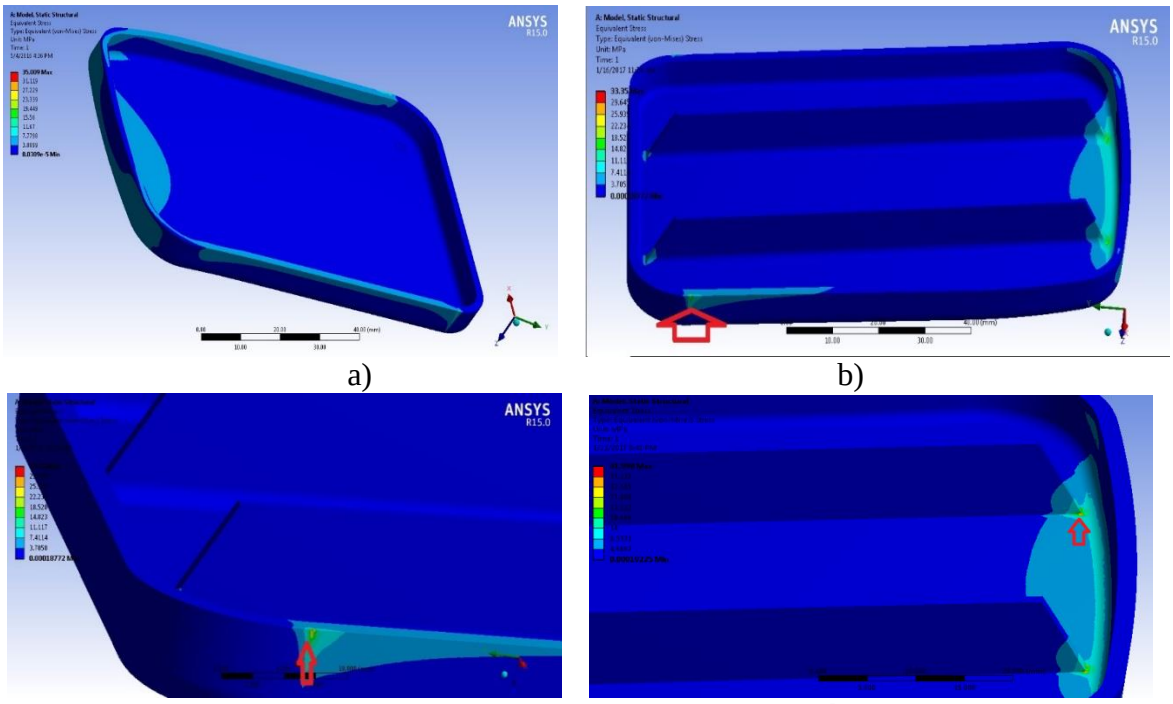
Plastik parçalara herhangi bir kuvvet veya basınç uygulandığı sadece deformasyon miktarı önem arz etmez. Deformasyonun haricinde oluşan bileşik gerilme (Von Mises) en büyük gerilme değeri de önemlidir. Seçilenmalzemenin % uzama miktarlarına bağlı olarak deformasyon miktarı göreceli olarak büyük değere sahip olsa bile oluşan gerilme değeri akma dayanıkının altında ise yük kaldırıldığında tekrar eski haline geleceği için plasitk parçanın kulalnıkında ciddi sorunlar yaşanmamaktadır. Hatta plastiğin geleneksel malzemelere göre tercih edilmesinin sebeplerinden biri de bu özelliğidir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerde deformasyon analizlerinde olduğu gibi gerilme değerleri de aynı şartlarda elde edilmiştir. Bu bağlamda, gerilme analizleri de deformasyon analizlerinde olduğu gibi plastik parça üzerinde A, B, C ve D yüzeylerine uygulanan basınç sonucu oluşan gerilme değerleri elde edilmiş ve feder parametrelerine bağlı olarak gerçekleşen gerilme değerleri tespit edilmiştir. Deney tasarımı yapılırken

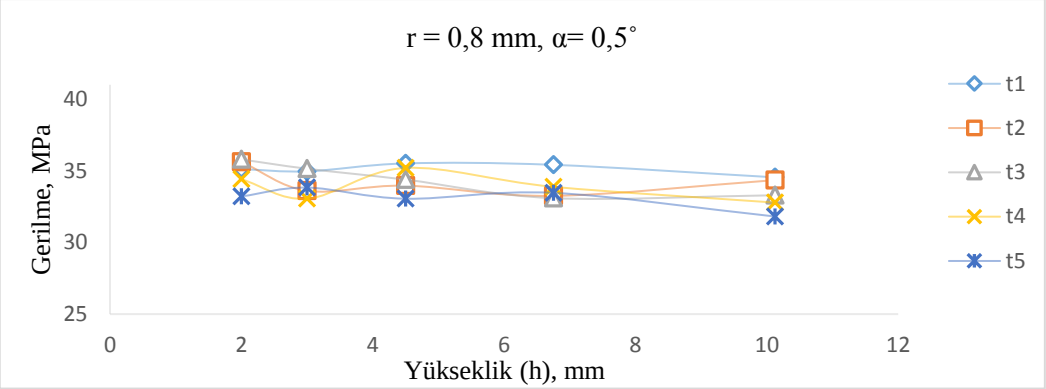
seçilen PP malzemesinin akma dayanımının 35 MPa olduğu ve bu değer referans kabul edilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

5.2.1. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır)

Federsiz parçada A yüzeyinden (önden) uygulanan basınç sonucu oluşan gerilme Çizelge 4.6'da verildiği gibi 35 MPa iken yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plastik parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımdaki gerilme miktarının 33,35 MPa olarak gerçekleştiği Şekil 5.25.b'de görülmektedir. Buna göre gerilme miktarının yaklaşık %5 azaldığı belirlenmiştir. Federli parçada oluşan en büyük gerilmenin plastik parçada ankastre yüzeyine yakın bölgede feder ile parça gövdesinin birleştiği dar bir bölgede gerçekleştiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.25. A yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. a) Federsiz plastik parça, b ve c) Federli plastik parça oluşan gerilmenin yoğunlaştığı bölge (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35 mm, α = 0,5º), d) Federli parçada oluşan gerilmenin yoğunlaştığı bölge (h = 10,125 mm, r = 0,2 mm, t = 1,35 mm, α = 0,5º)



Şekil 5.26. A yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

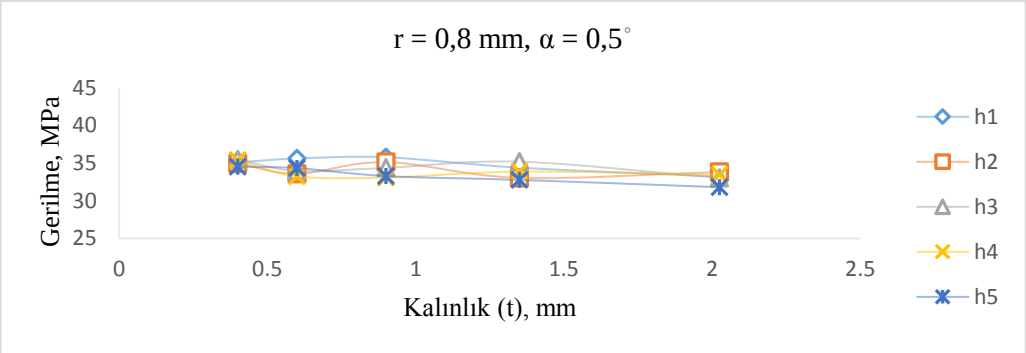
A yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.26'da görülmektedir. Federin r = 0,8 mm ve α = 0,5° sabit tutulmüştur. Görüldüğü gibi feder yüksekliğinin artması gerilme miktarının değişiminde çok kritik seviyede etkili olmadığı belirlenmiştir. Ancak Şekil 5.25'de ki grafiklerde anlaşılacağı gibi t_1-t_5 kalınlıkları da dikkate alındığında feder yüksekliğinin gerilme değerinde fazla etkisinin olmadığı ancak t_5 kalınlığının t_1-t_4 aralığındaki kalınlara oranla daha düşük gerilme değerine sahip olduğu ve feder yüksekliğine bağlı olarak gerilme değiminin dalgalı olmayıp stabil kaldığı belirlenmiştir. Bu da t_5 kalınlığının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Feder kalınlığı t = 2,025 mm olduğunda gerilme miktarı feder yüksekliği h_1'de 33,21 MPa'dan 31,81 MPa'a düşerek gerilme oranı %4,2 azalmaktadır. Feder yüksekliği h_1 olduğunda kalınlığın t_1'den t_5'e yükselmesi ile gerilme miktarı 35,11'den 33,21 MPa'a düşmüştür. Yani t_1-t_5 aralığındaki kalınlıklarda gerilme oranı %7,5 azalmaktadır. Feder yüksekliği h1 olduğunda bütün kalınlıklarda gerilme miktarı azda olsa parçanın akma dayanımı yani 35 MPa'lı geçmiştir. Ayrıca feder yüksekliği h_5 olduğunda feder kalınlığının t_1'den t_5'e çıkması gerilme miktarını 34,54 MPa'dan 31,81 MPa'a düşürerek gerilme oranı %7,9 azaltmıştır. En düşük gerilme feder parametreleri h = 10,125 mm ve t = 2,025 mm olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı federsiz parçaya göre 35 MPa'dan 31,81 MPa'a düşerek gerilme oranı %9,1 azalmıştır. Feder yüksekliğinin artmasının plastik parçanın gerilme değerlerinin fazla değiştirmemesi hatta yükseklik ile birliket açı da artınca feder kesiti düşeceği için mukavemet üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksekliğin artmasına bağlı olarak gerilme değerinin artmasının muhtemel sebebi gerilme analizindeki resimler incelendiğinde daha net anlaşılmaktadır. Bu

bağlamda yapılan resim ve gerilme analizi görüntülerinin incelemesinde gerilme değerinin yüksek olduğu bölgeler sadece belirli bölgeler olup plastik gösdesinin ankastre yüzeyine yakın kenarda deformasyona bağlı katlanmanın olduğu küçük bölgede oluştuğu belirlenmiştir.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçap değerlerien sahip Feder yüksekliği-Gerilme grafiği Ek-6-a'da verilmiştir. Buna göre feder yüksekliğinin yine gerilmeyi anlamlı bir şekilde deiştirmediğ ancak yarıçap değerinin de gerilmeyi anlamlı bir şekilde etkilemediği görülmektedir. Feder yarıçapı r = 0,2 mm olduğunda yüksekliğin artması h = 2 mm'den h = 3 mm'e gerilme miktarını azaltmış ancak feder yüksekliği h_2'den h_5'e artırsa gerilme miktarı 33,91MPa'dan 41,99 MPa'a artmaktadır (en yüksek gerilme). Bu da gerilme oranını %23,82 artmasının anlamına gelir. Feder yarıçapı r_1, r_2, r_5 ve feder yüksekli h_1 olduğunda gerilme miktarı az da olsa parçanın akma dayanımını aşmaktadır. Feder yüksekliği h = 10,125 mm olduğu zaman bütün yarıçaplada gerilme miktarları akma dayanımının altında olduğu görülmektedir. Sadece feder yüksekliği h = 2 mm ve h = 10, 125 mm'ye bakarak r = 0,9 mm olduğunda en düşük gerilme tespit edilmiştir. Bu yarıçapta feder kalınlığının artması gerilme miktarını 34,26 MPa'dan 32,23 MPa'a düşürmekte ve gerilme oranı da %5,9 MPa azalmaktadır. En düşük gerilmenin h = 10,125 mm ve t = 2,025 mm olan atsarımda olduğu belirlenmiştir. Bu parametreler ile yapılan tasarımda gerilme değeri federsiz parçaya göre %7,9 düşmüştür (35 MPa'dan 32,23 MPa'a azalmaktadır).

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-6-b de görülmektedir, r = 0,8 mm de, t =1,35 mm'de sabit tutulmuştur. Feder yükseklğinin artması gerilme miktarının değişiminde etkisinin az olduğu bununla birlikte feder açısının artmasınında gerilme değeri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.



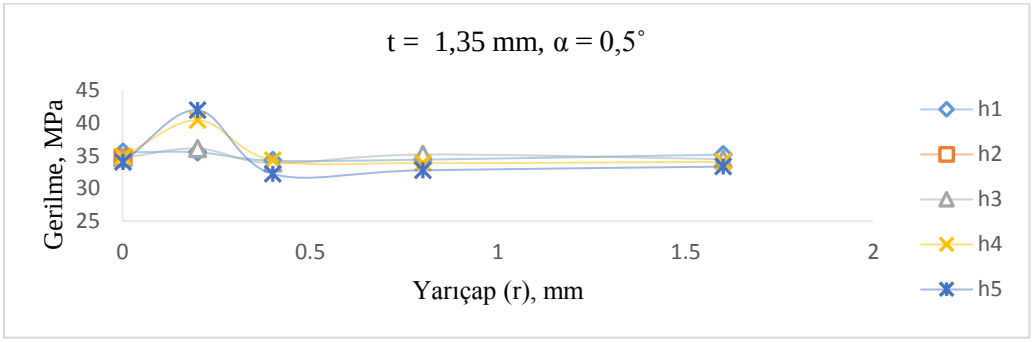
Şekil 5.27. A yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder kalınlığına bağlı olarak değişimi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yükseklikte federin t_1-t_5 arasındaki kalınlıklardaki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.27'de görülmektedir. Bu grafikte feder yarıçapı r = 0,8 mm ve feder açısı α = 0.5º olarak sabit tutulmuştur. Feder kalınlığı t = 0,4 mm olduğunda en yüksek gerilme feder yüksekliği h = 2 mm'de 35,11 MPa'da ve en düşük gerilme feder yüksekliği h = 10,125 mm'de 34,54 MPa olarak görülmektedir. En yüksek gerilme miktarı yani 35,79 MPa feder t = 0,8 mm ve h = 2 mm olduğunda görülmektedir. Bu parametrelerde gerilme miktarı %2,25 parçanın akma dayanımını geçmektedir. Feder kalınlığı t = 2,025 mm olduğunda en yüksek gerilme h = 3 mm de 33,87 MPa'da ve en düşüğü h = 10,125 mm'de tespit edilmiştir. Feder yüksekliği h = 10,125 olduğunda kalınlığın artması gerilme miktarı 34,35 MPa'dan 31,81 MPa'a düşmüş yani gerilme oları %7,4 azalmaktadır. Feder kalınlığı t = 2,025 mm ve yüksekliği h = 10,125 mm olduğunda en düşük gerilme tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 31,81 MPa'a düşerek gerilme oranı %9,1 azalmaktadır. Feder kalınlığı t_5 olduğunda bütün gerilmelerin akma dayanımından düşük oldukları görülmektedir.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki gerilme oranının üzerinde etkisi EK-6-c'de görülmektedir. Burada, feder kalınlığının gerilmeyi ciddi anlamda değiştirmediği ancak yarıçap değerinin de amlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin t_1-t_5 mm arasındaki kalınlıklarında değişiminin deformasyon oranının üezerin etkisi EK-6-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Federin kalınlığının artmasının etkisi gerilme üzerinde anlamlı olmadığı bununla birlikte feder açısının da ciddi bir etkisinin olmadığı grafikten anlaşılmaktadır. Grafik üzerinden yapılan inclemede feder kalınlığının etkisi

belirgin olmasa da Ek-1'de verilen Çizelgeda görüleceği gibi defer kalınlıpının t_5 olduğu analizlerdeki gerilme değerleri nispeten daha düşük çıkmıştır. Bu da feder kalınlığının en yüksek olduğu durumda gerilme değerinin azalacağı anlamı çıkmaktadır. Fakat plastik parça tasarım kriterleri gereği tavsiye edilen feder kalınlığı değeri plastik parçanın et kalınlığının %60'ını geçmemesi tavsiye edilir. Bu dğerden sonraki kalınlıklarda gerilme birikmesi ve ısıl dağılım farkı artacağı için kalıplama problemleri yaşanabilmektedir. Feder kalınlığı 0,4 mm oduğunda en yüksek gerilme feder açısı $\alpha = 0{,}5^o$ olduğunda 35,51 MPa ve en düşük gerilme $\alpha = 2^o$ olduğunda ise 33,7 MPa olduğu tespit edilmiştir. En düşük gerilme kalınlık t = 2,025 mm ve açısı $\alpha = 0{,}5^o$ olduğunda gerçekleşmektedir. Bu parametrede gerilmenin 33,05 MPa olduğu belirlenmiştir. Feder açısı $\alpha = 0{,}5^o$ olduğu tasarımlarda feder kalınlığın artması ile gerilme miktarı 35,51 MPa'dan 33,05MPa'a düşmüş olup gerilme oranın da %6,9 azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 5.28. A yüzeyiden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yarıçapına bağlı olarak değişimi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil Şekil 5.28'de görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 mm ve $\alpha = 0{,}5^o$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Feder yarıçapı r = 0,001 mm'de olduğunda en yüksek gerilme h = 2 mm'de 35,54 MPa ve en düşük gerilme h = 10,125 mm'de 34,04 MPa olduğunda görülmüştür. Yani yarıçap değeri sıfıra yakın olduğunda yükseklik değişiminin gerilme üzerindeki en büyük etkisi %4,4 oranınd adeğişmiştir.

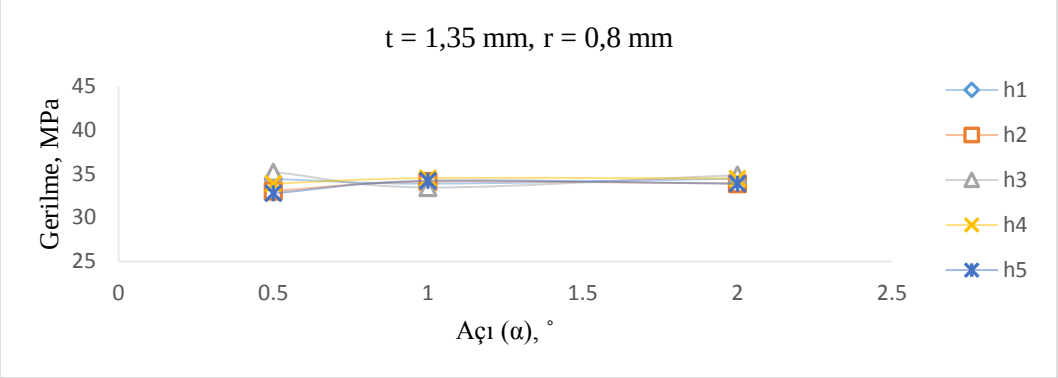
Şekil 5. 35'te görüldüğü gibi en yüksek gerilme r = 0,2 mm ve h = 10,125 mm'de 41,99 MPa da belirlenmiştir. Ayrıca gerafikte en düşük gerilme feder parametreleri r = 0,4 mm ve h = 10,125 mm de 32,23 MPa tespit edilmiştir. Plastik parçada en yüksek gerilmede gerilme oranı federsiz parçaya göre %20 ve en düşük gerilmeye göre %30,2 artmaktadır.

Yarıçap değişimi dikkate alındığında en küçük gerilme federsiz parçaya göre %7,9 azalmaktadır. Feder yarıçapı r = 1,6 mm olduğunda en yüksek gerilme h_1 de 35,19 PMa ve en küçük gerilme h_5 olduğunda 33,35 MPa da tespit edilmiştir. Gerilme oranının farkı ise % 5,2 civarıdna olduğu belirlenmiştir. Feder yarıçapı r_3'ten r_5'e artırıldığında gerilme değişiminin az olduğu görülmektedir. Feder yüksekliği h5 olduğunda feder yarıçapı r_3'ten r_5'e arttığında gerilme miktarı 32,23 MPa'dan 35,19 MPa'a yükselerek gerilme oranı %9,1 oranında artmıştır.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda ve feder parametrelerinden h = 4,5 mm'de ve $\alpha = 0{,}5^o$ sabit olduğu ve feder yarı çaplarının 0, 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm'deki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-6-e'de görülmektedir. Feder yarıçapı r_1 olduğunda en yüksek gerilme feder kalınığı t_1'de 33,98 MPa'da ve en düşük gerilme t_2 de 34,19 MPa'da görülmektedir. gerilme oranının farkı %6'da belirlenmiş. Feder parametrelerinde yarıçap r_2 ve kalınlığı t_5 olduğunda grafiğin en yüksek gerilme 37,82 MPa'da belirlenmiştir. En dşük gerilme feder yarıçapı r_3 ve kalınlığı t_5 olduğunda 33,45 MPa'da tespit edilmiştir. Plastik parçada en yüksek gerilmed gerilme oranı federsiz parçaya göre %8 artmaktadır. yani gerilme mektarı %8 akma dayanımınan fazla olmuştur. en yüksek gerilme en küçuk gerilmeden 4,37 MPa yani %8,8 çok olduğu tespit edilmişdir. Ayıca en düşük gerilme oranı federsiz parçaya göre %4,4 azalmaktadır. feder yarıçapı r_3 ten r_5'e artarken gerilme miktarı çok az değişmektedir . Feder yarıçapı r = 0,8 mm ten ne kadar yükselirse gerilme değirleri yakınsal oldukları belirlenmiştir. Feder yarıçapı r = 1,6 mm olduğunda t3'te 34,87 MPa'da en yüksek gerilme ve t_2'de 34,37 MPa'da en küçük gerilme görülmektedir. gerilme oranını farkı %1,4 belirlenmiştir.

A yüzeyden uygulanan basınçta farkılı açılarda federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda tasarımdaki deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-6-f'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik ve kalınlığın sırasıyla h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm olarak sabit tutulmuştur. Feder yarıçapı r_1 olduğunda en yüksek gerilme 34,68 MPa'da ve en düşük gerilme α_3'te 34,37 MPa olduğu görülmektedir. Gerilme oranını farkı %0,9'da belirlenmiştir. En yüksek gerilme feder yarıçapı r_2 ve açısı α_1 olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 36,12 MPa olduğu ve federsiz parçaya göre gerilme oranında %3,2 artış görülmektedir. yani %3,2 akma dayanımını geçmiştir. Feder yarıçapı r_5 olduğunda en yüksek gerilme α_3'te 34,73 MPa'da ve en düşük gerilme α_2'de 33,07 MPa'da tespit edilmiştir. grafikte r_5 ve α_2 olduğunda en düşük gerilme görülmektedir. En küçüğile

en yüksek gerilmenin farkı 3,08 MPa olmuş yani gerilme oranı en yüksek gerilmeğe göre %8,4 azalmaktadır. Ayrıca en düşük gerilmede gerilme oranı federsiz parçaya göre %5,5 düşmektedir. Feder yarıçapı r_5 olduğunda en yüksek gerilme 34,73 MPa'da ve en düşük gerilme α_3'te 33,07 MPa olduğu görülmektedir. Gerilme oranını farkı %4,7'de belirlenmiştir.



Şekil 5.29. A yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder açısına bağlı olarak değişimi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5; 1 ve 2° açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.29'da görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. En yüksekiği en düşük gerilme feder açısı α = 0,5° olduğunda görülmektedir. bu açıda feder yüksekliği h_3 olursa gerilme 35,19 MPa'da ve h_5 olursa gerilme 32,78 MPa'da tespit edilmiştir. en yüksek gerilmede gerilme oranı federsiz parçaya göre %5 artmaktadır. ayrıca en düşük gerilmeden %7,3 oranda çok olduğu belirlenmiştir. En düşük gerilmede gerilme mektarı 35 MPa'den 32,78 MPa1la düşürek gerilme oranı %6,3 azalmaktadır. Feder açısı α = 2° olduğunda en yüksek gerilme h3'te 34,84 MPa ve en düşük gerime h_5'te 33,89 MPa da görülmektedir. Bu iki gerilmenin yaklaşık %1 oranda farklı olduğu tespit edilmişrtir. Yani açının artmasıyla gerilme miktarları yakınsal olmaktadır. Açı α = 0,5° ile α = 2° arasında gerilme değişimi anlamlı olmamaktadır.

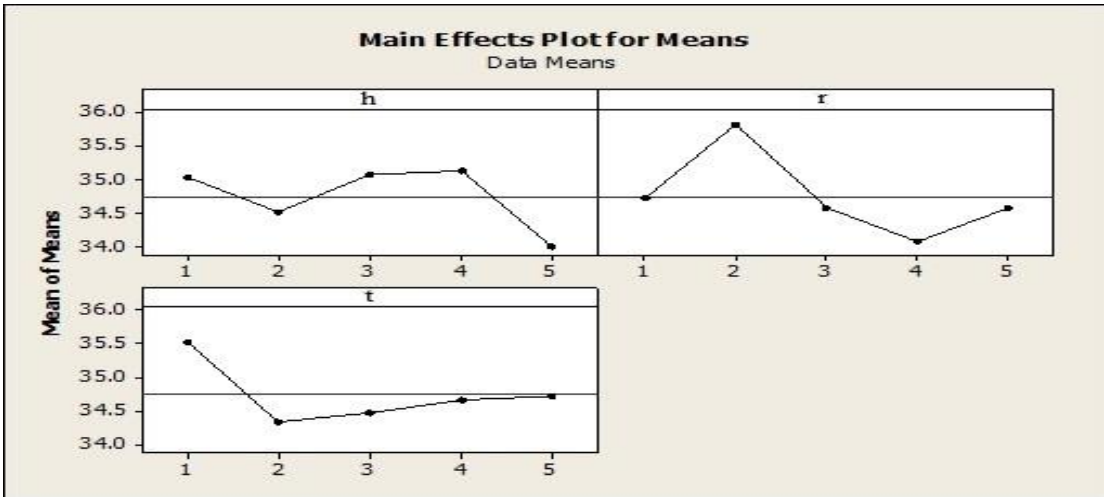
A yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5; 1 ve 2° açılarında deformasyon oranında etkisi EK-6-j'de görülmektedir. Feder parametresi h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Feder açısı α = 0,5° ve feder kalınlığı t_1 olduğunda grafiğin en yüksek gerilmesi 35,51 MPa'da ve en düşük gerilmesi aynı açıda ve feder kalınlığı t_5 olduğunda 33,05 MPa'da görülmektedir. Plastik parçada en yüksek gerilme federsiz parçaya göre %1,45 artmaktadır. Ayrıca en yüksek gerilme en düşük gerilmeden 2,4 MPa çok olduğu

belirlenmiştir. Buda gerilme oranını %7,4 fark olduğu anlamına gelmektedir. Feder açısı α = 2º olduğunda en yüksek gerilme feder yüksekliği t_3 olduğunda 35,17 MPa ve en düşük gerilme t_1 olduğunda 33,74 MPa'da tespit edilmiştir. Bu iki gerilme arasında 1,43 MPa yani %4 fark olduğu görülmektedir. Yani açının artmasıyla gerilme miktarları yakınsal olmaktadır.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5; 1 ve 2º açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-6-h'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik h = 4,5 mm ve kalınlık t = 1.35 mm sabit tututlmuştur. Plastik parçanın en yüksek gerilmesi feder açısı α = 0,5º ve yarıçapı r_2 olduğunda 36,12 MPa'da görülmektedir. bu açıda en düşük gerilme feder yarıçapı r_3 olduğunda 33,87 MPa'da belirlenmiştir. En yüksek gerilmenim federsiz parçaya göre %3,2 oranda artmıştır. En düşük gerilme feder acısı α = 1˚ ve yarıçap r_5 olduğunda 33,07 MPa da tespit edilmiştir. Federsiz parçaya göre gerilme oranı %5,5 düşmektdir. En yüksek ile en düşük gerilmenin %9,2 oranda farklı oldukları tespit edilmiştir.

Feder açısı α = 0,5º olduğunda en yüksek ile en düşük gerilme miktarının farkı 2,25MPa olarak gerilme oranının farkı %6,2 belirlenmiştir. Feder açısı α = 2º olduğunda en yüksek gerilme feder yarıçapı r_3'te 34,91 MPa ve en düşük gerilme r_1'de 34,37 MPa da tespit edilmiştir. Gerilme oranını farkı %1,5 olarak görülmektedir. Feder açısı artıkça gerilme miktarları yakınsal olmaktadır. Açı α = 0,5º'ile α = 2º arasında gerilme değişimi anlamlı olmamaktadır.

GerilmeÜzerinde A yüzeyden uygulanan basınç etkisin (α = 0.5º Sabit Tutulmaktadır).



Şekil 5.30. A yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin gerilme üzerindeki etkileşim grafikleri

Feder parametrelerinin grafkleri incelendiğinde hangi feder parametresinin gerilme miktarını ne kadar değiştirdiği tespit edilebilmektedir. Ancak feder parametrelerinin birlikte değerlendirerek hangi parametrenin gerilmeni ne kadar değiştirdiğinin belirlemek için Taguchi analizi yapılmıştır. Buna göre, feder açısı sabit olmak üzere feder yüksekliği (h), feder yarıçapı (r), feder kalınlığı (t)'nin gerilme üzerinde etkilerinin Taguchi yöntem ile analizinin sonuçları Şekil 5.30'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi parametrelerin değişiminin etkisi gerilme miktarının değişiminde düzenli şekilde bulunmamaktadır. FederYüksekliğile ilgili grafikte en yüksek gerilme feder h_1 de ve en düşük gerilme feder h_5 olduğunda tespitedilmiştir. Bu aralıkta gerilme yaklaşık %3 azalmaktadır. Ancak gerilmenin düşüşü düzenli şekeline görülmemektedir. Feder yarıçapıyla ilgili grafikte en yüksek gerilme feder yarıçapı r_2 de ve en düşük gerilme feder yarıçapı r4 olduğunda meydana gelmektedir. Bu aralıkta gerilme yaklaşık %4,5 azalmaktadır. Feder kalınlığıyla ilgili grafikte en yüksek gerilme feder kalınlığı t_1 ve en düşük gerilme feder kalınlığı t_2 olduğunda de belirlenöiştir. Bu aralıkta gerilme oranı yaklaşık %4 azalmaktadır. Feder kalınlığı t_2'den t_5'e artırsa gerilme miktarı düzenli şekilde artmaktadır.

Gerilme garafiğini analizinde önemli olan maksimum gerilmeğe neden olan feder parametreleridir. Gerilme miktarı plastik parçanın akma dayanımını geçerse parçada yüksek olduğu bölgelerde plastik davranışlar bulunmaktadır yani bu bölgelerde basınçtan dolayı kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Buda parçanı hasar görmesi anlamına gelir.

En yüksek gerilme feder parametreleri h_1, r_2 ve t_1 olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 34,99 MPa olduğu için parçanın akma dayanımı

aşmamaktadır dolayısıyla parçada kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. En düşük gerilme feder parametreleri h_5, r_4 ve t_2 olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 34,35 MPa'a düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre %2 azalmaktadır. En düşük gerilme Taguchi grafiğinde bulunduğu gerilmeden %7 azdır.

EK-1 i ve j'de verilen gerilme değerlerine göre, en yüksek gerilme değeri h_5, r_2 ve t_4 parametreleri ile tasarlanan plastik parçada olduğu tespit edilmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 41,99 MPa'a yükselmiş olup gerilme oranının %20 arttığı belirlenmiştir. Dolasıyla plastik parçada maksimum gerilme oluşan yerlerde 1,28 mm ve 1,71 mm'de kalıcı deformasyon belirlenmiştir. Bu parçada maksimum deformasyon miktarı 1,93 mm'de tespit edilmiştir.

Feder yarıçapı düşük olduğı tasarımlarda özellikle r = 0,2 mm olduğu zaman feder yülsekliği 3, 4,5, 6,75 ve 10,125 mm'te tasarlandığı zaman en yüksek gerilme federlerin basınç uyğulanan bölgeye yakın ve et kalınlığa yapışan yerde (yamuğun dip köşesinde) görülmektedir. Feder yarıçapı r = 0,001 ve r = 0,4 olduğunda en yüksek gerilme yamuğun dip köşesinde ve bazen ankestraya yakın yapışan yerde görülmektedir. Bu bölgede deformasyonun büyük olduğundan dolayı gerilme miktarı akma dayanımını geçmek parçanın ciddi hasar görme anlamına gelmektedir. En yüksek gerilme ankastraya yakın yerde oluşursa, bu bölgede deformasyon miktarı minimum olduğundan dolayı kalıcı deformasyon çok düşük miktarda görülmektedir. Dolayısıyla parça ciddi hasar görmemektedir. Gerilme değerinin akma dayanımından büyük ancak deformasyon oranının ise federsiz parçadaki deformasyondan küçük olduğuı dikkate alınırsa gerilmenin küçük bir alanda ve genel deformasyonun olduğu bölgenin dışında gerçekleştiği ve sadece o bölgede yoğunlaştığı anlaşılmaktadır.

Belirlenen gerilme miktarı Taguchi yöntemi ile bulunan en yüksek gerilme %20 çok olduğu için A yüzeyinden uygulana basınçta Taguchi yöntemi gövenili yöntem olmadığı anlamına gelmektedir. En düşük gerilme feder parametreleri h_5, r_4 ve t_5 olduğunda belirlenmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 31,81 MPa'a düşmüş yani gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %9 azalmaktadır. En yüksek gerilme akma dayanımını geçmediği için parçada kalıcı deformasyon gerçekleşememektedir. Bu parçada maksimum deformasyon miktarı 1,75 mm'de tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük gerilme arasında %27 fark bulunmaktadır.

5.2.2. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1° sabit tutulmaktadır)

EK-1 i ve j'de verilen değerlere göre en yüksek gerilme feder parametreleri h= 10,125 mm, r = 0,2 mm ve t = 2,025 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 40,69 MPa'a artmış yani gerilme oranı %16,25 artmaktadır. Gerilme miktarı plastik parçanın akma dayanımını geçtiği için gerilmenin akma dayanımından yüksek olduğu yerlerde yani basınça yakın ve yamuğun dip köşesinde kalıcı deformasyon 1,58 mm ve 1,91 mm miktarlarında gerçekleşmiştir. Bu parametrelerde tasarlanan federde plastik parçanın maksimum deformasyonu 1,78 mm'te belirlenmiştir. En düşük gerilme h = 6,75 mm, r = 1,6 mm ve t = 0,6 mm'de tespit edilmiştir. Bu tasarımda gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %10 azalmaktadır (35 MPa'dan 31,49 MP'la düşmüştür). h = 6,75 mm, r = 1,6 mm ve t = 0,6 mm olduğu tasarımda deformasyon 2,77 mm'te belirlenmiştir. h= 10,125 mm , r = 0,2 mm ve t = 2,025 mm parametrelerinde yani en yüksek gerilmeğe neden olan tasarımda, deformasyon miktarı en düşük gerilmede belirlenen deformasyondan %35,7 oranda az olmasına rağmen gerilme miktarı akma dayanımı geçtiği için plastik parçaya seçilmemelidir. Yani federin seçilmesinde önemli olan gerilmenin akma dayanımın altında kalmasıdır. Deformasyon miktarı çok olursada, gerilme miktarı akma dayanımını geçmediği sürece parçada plastik davranışlar bulunmamaktadır. A yüzeyinden uygulanan basınca $\alpha = 1^o$ olduğu zaman En yüksek ve en düşük gerilme arasında %26,25 fark bulunmaktadır.

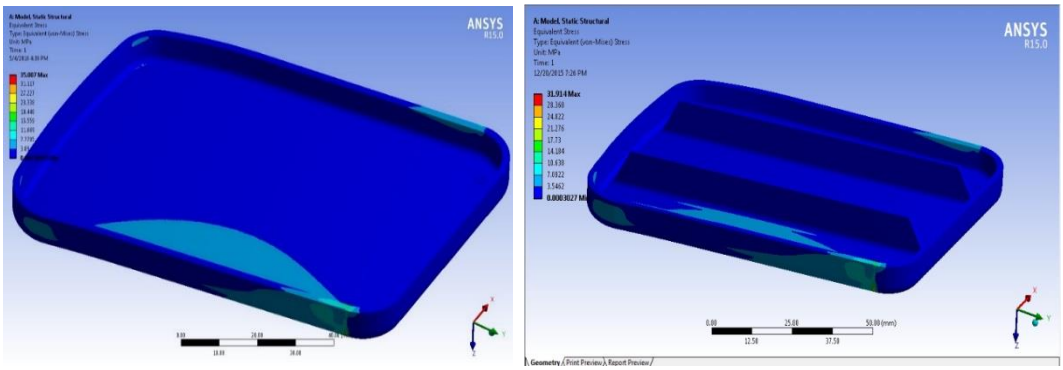
5.2.3. A yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2° sabit tutulmaktadır)

EK-1 i ve j'de elde edilen gerilme değerlerine göre en yüksek gerilme feder parametreleri h = 10,125 mm , r = 0,2 mm ve t = 2,025 mm olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 39,83 MPa'a artmasıyla gerilme oranı federsiz parçaya göre %13,8 artmaktadır. Plastik parçada yamuğun dipköşesinde oluşan maksimum gerilme, akma dayanımından fazla olduğu için parçada kalıcı deformasyon 1,2 mm miktarda meydana gelmektedir. Bu parçada maksimum deformasyon ise 1,83 mm'de görülmektedir. En düşük gerilme feder parametreleri h_5, r_1 ve t_4 olduğunda tespit edilmiştir. Gerilme miktarı 35 MPa'dan 32,86 MPa'a düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %6,1 azalmaktadır. Bu tasarımda deformasyon miktarı 2,05 mm'de tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük gerilme arasında yaklaşık %20 fark bulunmaktadır. Yüksek gerilmede oluşan

deformasyon miktarı en düşük gerilmede oluşan deformasyondan az olmasına rağmen, gerilme değeri akma dayanımını geçirmesinden dolayı ve kalıcı deformasyon oluştuğu için parçanı olumsuz şekilde etkilemektedir. Dolayısıyla feder tasarımının seçilmesinde deformasyonun miktarınan ziyade gerilmenin akma dayanımını geçmemesi dikkat alınmaktadır.

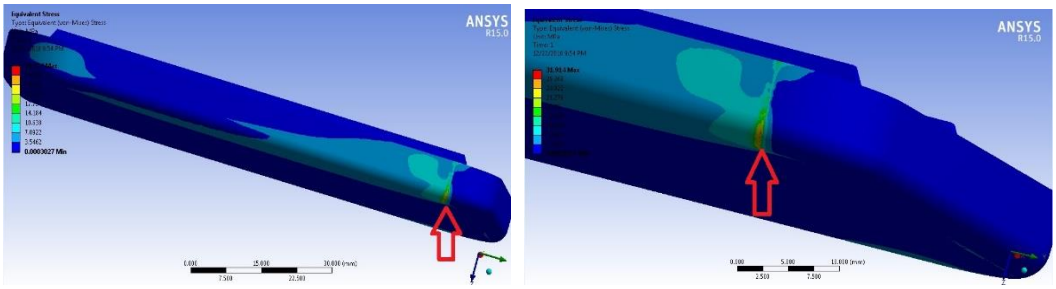
5.2.4. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5° sabit tutulmaktadır)

Şekil 5.31'de verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan gerilme miktarları ve gerilme analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada B yüzeyinden (kenardan) uygulanan basınç sonucu oluşan gerilme Çizelge 4.6'da verildiği gibi 35 MPa iken yüksekliğin 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plastik parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5° olduğu tasarımda 31,91 MPa'da gerçekleşmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarının 31,91 MPa olduğu yapılan analizler sonucu belirlenmiş olup federli plastik parçada oluşan en büyük gerilme değerinin federsiz parçaya göre yaklaşık %9 oranında azaldığı belirlenmiştir. Federli, plastik parçada A yüzeyinden uygulanan basınçta federsiz parçaya göre %5 oranında azalma olurken B yüzeyinde uygulanan basınçta %9 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Bu durum feder yapısına bağlı olarak değişmekte olup %9 oranındaki azalma en büyük gerilmeye göre belirlenmiştir.

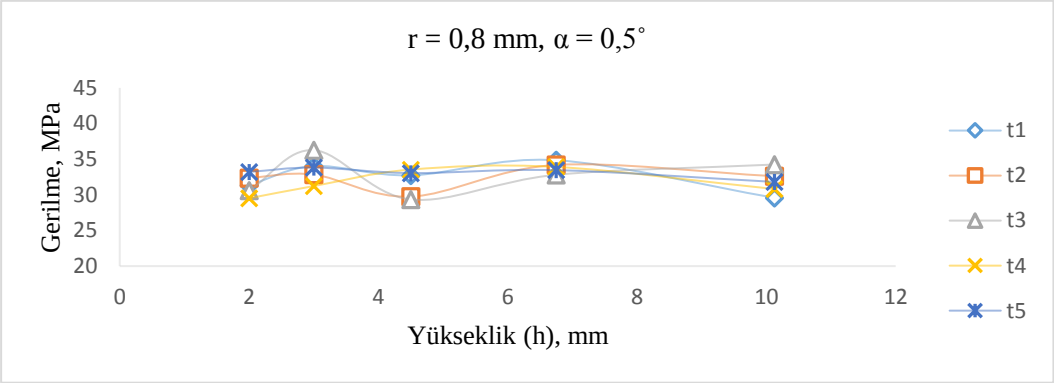


a) b)

Şekil 5.31. B yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. a) Federsizplastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t=1,35mm, α=0,5 °), c,d) Federli parçada oluşan gerilmenin yoğunlaştığı bölge



Şekil 5.32. (devam) B yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. a) Federsizplastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t=1,35mm, α=0,5 ^{o}), c,d) Federli parçada oluşan gerilmenin yoğunlaştığı bölge



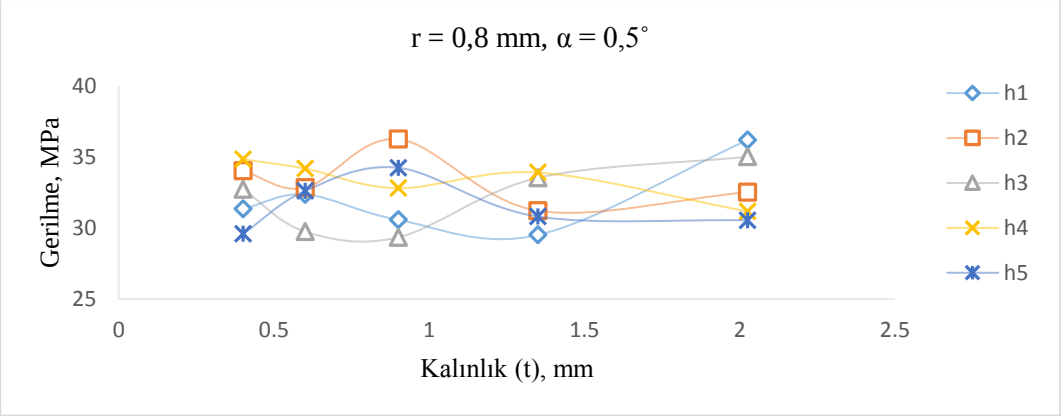
Şekil 5.33. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.40'da görülmektedir. Feder parametreleri r = 0,8 mm ve α = 0,5^{o} olarak sabit tutulmuştur. Şekil 5.39'da verilen grafik incelendiğin feder yüksekliğinin gerilme üzerindeki etkisi anlamlı bulunmamaktadır. En yüksek gerilme, feder yüksekliği h = 3 mm ve kalınlığı t = 0,9 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 36,26 MPa'a artmış yani gerilme miktarı %3,6 oranında artmaktadır. En düşük gerilme değeri federin yüksekliği h = 4,5 mm ve kalınlığı t = 0,9 mm'de olduğunda tespit edilmiştir. Bu tasarımda gerilme oranı %16,4 düşmektedir (35 MPa'dan 29,35 MPa'a azalmaktadır). En yüksek ile en düşük gerilme arasımdaki fark %20 belirlenmiştir. h = 3 mm ve t = 0,9 mm'de gerçekleşen gerilme hariç, diğer parametrelerde oluşan gerilmelerin tümü akma dayanımının altında kalmıştır.

B yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yarıçapta federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-7-a'da

görülmektedir. Feder t = 1,35 mm ve α = 0,5º de sabit tutulmuştur. Yüksekliğin değişiminin gerilme üzerinde anlamlı etkisi olmamıştır. En yüksek gerilme feder parametreleri h = 6,75 mm vr r = 0,2 mm'de olduğu durumda gerçekleşmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 42,87 MPa'a artmış yani gerilme oranı parçanın akma dayanımın %22,4 geçmektedir. Bu tasarım istenmeyen ve uygun olmayan bir tasarım olarak değerlendirilmektedir. En düşük deformasyon yani 29,51 MPa, h = 2 mm ve r = 1,35 mm'de gerçekleşmiştir. Bu parametreler ile gerçekleştirilmiş tasarımda gerilme oranı akma dayanımına göre %15,6 düşmektedir. Dolayısıyla t = 1,35 mm, h = 2 mm ve r = 1,35 mm ve α = 0,5º olduğu tasarım uygulanabilir ve anlamlı sonucun elde dildiği bir tasarım olarak değerlendirilebilir. En yüksek ile en düşük gerilme arasındaki fark %38 olarak belirlenmiştir. Feder yarıçapı r_3, r_4 ve r_5 olduğunda gerilme miktarı tüm yüksekliklerde akma dayanımı geçmemektedir. Ancak r_4'te daha düşük gerilme görülmektedir.

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-7-b'de görülmektedir. Feder r = 0,8 mm de, t = 1,35 mm'de sabit tutulmuştur. Feder yüksekliği h = 4,5 mm'den h = 6,75 mm'ye artarak gerilme miktarı her üç açıda da artmaktadır. h = 6,75 mm olduğunda her üç açıda gerilmenin yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. Feder yüksekliği h = 6,75 mm'den h = 10,125 mm'ye artmasıyla gerilme miktarı düşmüş olup en yüksek gerilme h = 6,75 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Gerilme miktarı 33,97 MPa olarak gerilme oranı akma dayanımına göre yaklaşık %3 oranında düşmüştür. En düşük gerilme h = 2 mm'de ve α = 0,5º olduğunda tespit edilmiştir. Gerilme miktarı 29,51 MPa'da olduduğundan dolayı gerilme oranı akma dayanımına göre %15,6 azalmaktadır. En yüksek ve en düşük gerilme arasında %12,4 fark olduğu belirlenmiştir.



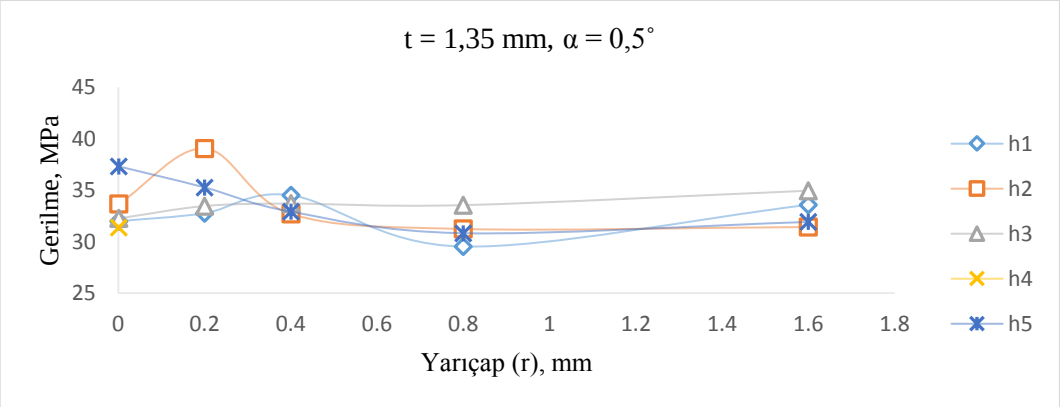
Şekil 5.34. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.33'te görülmektedir. Federin r = 0,8 mm ve α = 0,5° sabit tutulmüştur. Görüldüğü gibi kalınlığın artması anlamlı şekilde gerilme üzerinde etkili olamaştır. Feder kalınlığı t = 0,4 mm olduğunda h_5'te en düşük gerilme belirlenmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 31,34 MPa'a düşerek gerilme oranı %10,45 azalmaktadır. Bu yükseklikte kalınlığın artması gerilme miktarını artmaktadır ve en yüksek gerilme t = 0,9 mm'de görülmektedir. Ancak kalınlığın feder kalınlığı t = 0,9 mm'den çok olduğunda gerilme miktarı azalmaktadır. En yüksek gerilme feder kalınlığı t = 0,9 mm ve yüksekliği h = 3 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Bu parametreleder gerilme miktarı 35 MPa'dan 36,26 MPa'ı artmış yani gerilme oranı parçanın akma dayanımına göre %3,6 artmaktadır. En yüksek ile en düşük gerilme arasında ki fark %14'te tespit edilmiştir. Feder yüksekliği h = 6,75 mm ve h = 10,125 mm'de olduğunda gerilme miktarı tüm kalınıklarda akma dayanımın geçmemiştir.

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki gerilme oranının üzerinde etkisi EK-7-c'de görülmektedir. Feder kalınlığının artması gerilme miktarını anlamlı şekilde etkili olmamış. En yüksek gerile feder kalınlığı t = 0,9 mm ve h = 0,001'de gerçeklenmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 36,37 MPa'a artmış yani gerilme oranı %3,9 artmaktadır. Dolayısıyla gerile miktarı bulunduğu oranda akma dayanımını geçmektedir. En düşük gerilmede aynı kalınlıkta ve feder yüksekliği h = 6,75 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Bu parametrelerdegerilme oranı 35 MPa'dan 29,35 MPa'a düşmüş yani gerilme oranı %16,1 artmaktadır. En yüksek ile en düşük gerilme arasındaki farkın %20 olduğu tespit edilmiştir.

Feder Yarıçapı r = 0,4 mm'de olduğunda gerilme miktarı tüm kalınıklarda akma dayanımın altında tespit edilmiştir. Gerilme miktarı r = 1,35 mm'de olduğunda sadece t = 2,025 mm'de olduğu zaman akma dayanımıyla eşit olmaktadır. Diğer kalınlıklarda oluşan gerilme miktarı akma dayanımını geçmemektedir.

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin t_1-t_5 mm arasındaki kalınlıklarında değişiminin deformasyon oranının üezerin etkisi EK-7-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Feder kalınlığının etkisi gerilme üzerinde t_1'den t_4'e artırsa gerilme üzerinde etkisi anlamlı bulunmamaktadır. Ancak kalınlık t_4'ten t_5 artmasıyla gerilme miktarı her üç açıda düzenli şekilde artmıştır. t_4 olduğunda açı α_1'den α_2 ve α_3'e yükselmesi gerilme miktarını artmaktadır. Feder kalınlığı t_5 olduğunda gerilme ayını sırayla artmıştır. Bu kalınlıkta en yüksek gerilme α_1 de ve en düşük gerilme α_3 belirlenmiştir. En yüksek gerilme feder kalınlığı t = 2,025 mm ve feder açısı $\alpha = 0{,}5^o$ olduğunda tespit edilmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı federsiz parçaya göre yaklaşık değişmemektedir. En düşük gerilme aynı açıda ve t = 0,9 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 33,53 MPa'a düşerek gerilme oranı %4,2 azalmaktadır. En yüksek ile en düşük gerilme arasımdaki fark %4,2 bulunmaktadır. En yüksek gerilmeye neden olan parametreler hariç, değer parametrelerde gerçekleşen gerilme miktarı akma dayanımını geçmemektedir.



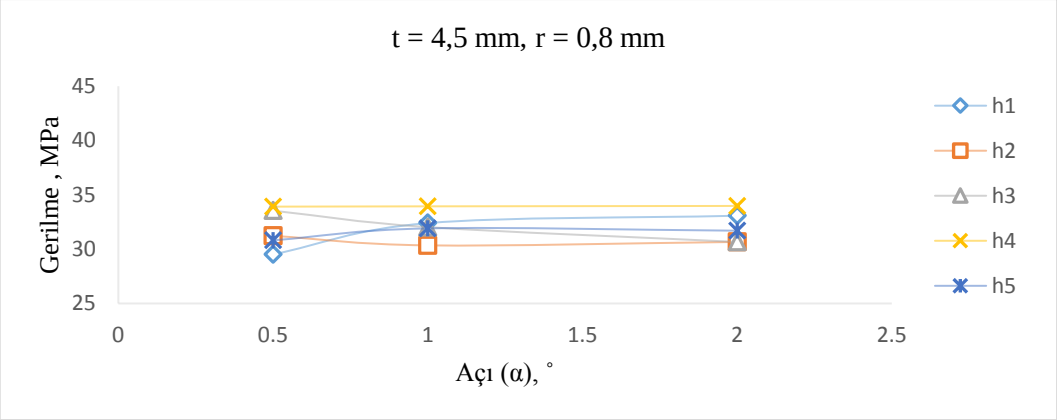
Şekil 5.35. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.34'te görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 ve $\alpha = 0{,}5^o$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Ferder yarıçapı r = 0,2 mm, feder yaüksekliği h = 3 mm ve h = 10,125 mm

olduğunda gerilme miktarı akma dayanımını geçmektedir. Ancak diğer parametrelerde tüm gerilmeler akma dayanımının altında kalmaktadır. En yüksek gerilme r = 0,2 mm ve h = 3 mm'de belirlenmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 39,03 artmıştır yani gerilme oranı %11,5 artmıştır. En düşük gerilme feder yarıçapı r = 0,8 mm ve h = 2 mm olduğunda belirlenmiştir. Bu tasarımda gerilme oranı %15,6 azalmaktadır (35 MPa'dan 29,51 MPa'a düşmüştür). En yüksek ve en düşük gerilme arasında %27,1 fark olduğu belirlenmiştir.

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda ve feder parametrelerinden h = 4,5 mm'de ve α =0,5^o sabit olduğu ve feder yarı çaplarının 0, 0,2; 0,4; 0,8 ve 1.6 mm'deki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-7-e'de görülmektedir. Feder yarıçapıın değişiminin gerilme üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. En yüksek gerilme feder parametreleri r = 0,001 mm'de ve t = 0,9 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Bu parametrede gerilme değeri 35 MPa'dan 36,37 MPa'a yükselmiş olup gerilme %3,9 artmıştır. En düşük gerilme aynı kalınlıkta ve r = 0,8 mm'de olduğunda tespit edilmiştir. Bu tasarımda gerilme 35 MPa'dan 29,35 MPa'a düşmüş olup gerilme değeri %16,1 oranında azalmaktadır. En yüksek ve en düşük gerilme arasında %20 fark olduğu belirlenmştir. Ayrıca, feder kalınlığı t = 1,35 mm olduğunda gerilme miktarı tüm yarıçaplarda akma dayanımını geçmemektedir.

B yüzeyden uygulanan basınçta farkılı açılarda federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-7-f'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik ve kalınlığın sırasıyla h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm olarak sabit tutulmuştur. Feder yarıçapı α_1 olduğunda yarıçapın artması gerilme oranını azda olda nisbeten düzenli şekilde artırmaktadır. Bu açıda yarıçap r = 0,001 mm'den r = 1,6 mm'ye arttığında gerilme miktarı 32,25 MPa'dan 34,94 MPa'a yükselmiştir (gerilme oranı %7,6 artmaktadır). Ancak diğer açılarda yarıçapın artması gerilme miktarını anlamlı şekilde etkilememiştir. Tüm gerilme değerleri akma dayanımın altında bulunmaktadır. En yüksek gerilme feder parametreleri r = 1,6 mm ve α = 0,5^o olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme oranı akma dayanımıyla yaklaşık olarak eşittir. En düşük gerilmenin r = 0,4 mm ve α = 1^o'de olduğunda elde edildiği belirlenmiştir. Bu tasarımda gerilme oranı federsiz parçada oluşan gerilmeye göre %15,6 düşmüştür (35 MPa'dan 29,54 MPa'a azalmıştır).



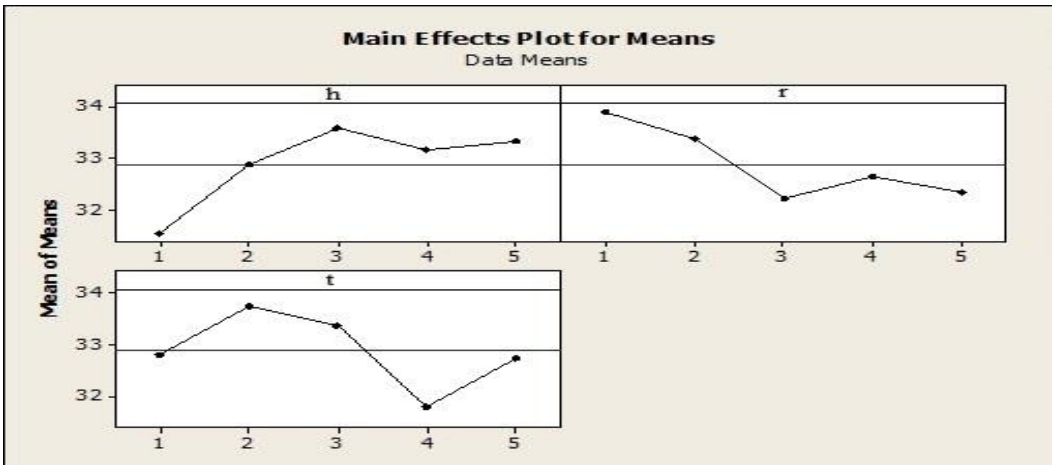
Şekil 5.36. B yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.35'de görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. Feder kalınlığı h = 4,5 mm olduğunda açının artması gerilme miktarını değiştirmemiştir. Feder kalınlığı h = 6,75 mm olduğunda açının artması gerilme miktarını düzenli şekilde düşürmektedir. Ancak feder kalınlığı h = 2 mm olduğunda gerilme miktarı feder açısının artışıyla artmaktadır. En yüksek gerilme feder açısı α = 2^o ve kalınlığı t = 1,35 olduğunda tespit edilmiştir. Bu tasarımda gerilme oranı % 2,4 akma dayanımına göre düşmüştür. En yüksek gerilme feder açısı α = 0,5^o ve kalınlığı t = 0,4 mm olduğunda belirlenmiştir. Bu parametrelerde gerilme oranı akma dayanıma göre %15,6 azalmakta olup en yüksek ile en düşük gerilme arasında %13,2 fark olduğu tespit edilmiştir.

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarında deformasyon oranında etkisi EK-7-j'de görülmektedir. Feder parametresi h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Feder kalınlığı t_4 ve t_5 olduğunda açının artması gerilme miktarını düzenli şekilde düşürmektedir. Ancak feder kalınlığı t_2 ve t_3 olduğu zaman açının artışı gerime miktarını artmaktadır. Feder kalınlığı t_1 olduğunda açının artıması anlamlı şekilde gerilme üzerinde etkili olmamıştır. En yüksek gerilme feder açısı α = 0,5^o ve t = 2,025 mm olduğunda akma dayanımıyla eşit olmaktadır. En düşük gerime feder açısı α = 0,5^o ve t = 0,9 mm olduğunda 29,35 MPa'da tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme oranı parçanın akma dayanımına göre %16,1 azalmaktadır. En yüksek ile en düşük gerilme arasında %16,1 fark bulunmaktadır.

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5; 1 ve 2º açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-3-h'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik h = 4,5 mm ve kalınlık t = 1.35 mm sabit tututlmuştur. Sadece feder yarıçapı r_3 ve r_4 olduğunda açının artması gerilme miktarını düşürmektedir. Diğer yarıçaplarda açının değişmesinin etkisi gerilme üzerinde anlamlı bulunmamaktadır. En yüksek gerilme feder açısı α = 0,5º'de ve yarıçapı r5 olduğunda tespit edilmiştir. bu tasarımda gerilmenin miktarı akma dayanımıyla yaklaşık eşittir. En düşük gerilme feder açısı α = 2º'de ve yarıçapı r_3 olduğunda gerçekleşmiştir. Bu parametrelerde gerilme oranı 35 MPa'dan 28,28 MPa'a düşerek gerilme oranı %19,2 azalmaktadır. En yüksek ile en düşük gerilme arasında %19,2 fark belirlenmiştir.

gerilme üzerinde b yüzeyinden uygulanan basınç etkisin (α = 0.5º sabit tutulmaktadır).



Şekil 5.37. B yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri

Feder parametrelerinin grafkleri incelendiğinde hangi feder parametresinin gerilme miktarını ne kadar değiştirdiği tespit edilebilmektedir. Ancak feder parametrelerinin birlikte değerlendirerek hangi parametrenin gerilmeyi ne kadar değiştirdiği belirlemek için Taguchi analizi yapılmıştır. Buna göre, feder açısı sabit olmak üzere feder yüksekliği (h), feder yarıçapı (r), feder kalınlığı (t)'nin gerilme üzerinde etkilerinin Taguchi yöntemi ile analizi yapılmıştır (Şekil 5.36). Görüldüği gibi A yüzeyinde uygulanan basınç gibi B yüzeyinde de uygulanan basınçta parametrelerin değişimlerinin gerilme miktarının değişimi üzerindeki etkisi düzenli şekilde gerçekleşmemiştir. Feder yüksekliği ile ilgili grafikte en düşük gerilme feder yüksekliği h_1 ve en yüksek gerilme ise feder yüksekliğinin h_3 olduğu tasarımda tespit edilmiştir. Bu aralıkta gerilme oranı yaklaşık %5 artmaktadır.

Feder yarıçapıyla ilgili grafikte en yüksek gerilme yarıçap r_1'de elde edilmiş olup en düşük gerilme ise yarıçap r_3 ile r_5'te meydana gelmektedir. Bu aralıkta gerilme yaklaşık %5 azalmaktadır. Feder kalınlığıyla ilgili grafikte en yüksek gerilme kalınlık t_2 de ve en düşük gerilme kalınlık t_4 olduğunda tespit edilmiştir. Bu aralıkta gerilme oranı yaklaşık %6 azalmaktadır.

En yüksek gerilme feder parametreleri açı = $0,5^o$ olmak üzere, h_3, r_1 ve t_2 olduğunda belirlenmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 33,64 MPa'da tespit edilmiştir. Bu tasarımda en yüksek gerilme akma dayanımını geçmemekte olup en düşük gerilme feder parametreleri h1, r_3 ve t_4 de bulunmaktadır. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa tan 34,35 MPa düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre %2 azalmaktadır. Ancak en düşük gerilmenin miktarı h_1, r_5 ve t_4 parametrelerinde 35 MPa'tan 31,91 MPa'a düşerek federsiz parçaya göre gerilme miktarının yaklaşık %9 azaldığı tespit edilmiştir.

EK-1- k ve l 'de verilen gerilme değerlerine göre en yüksek gerilme feder parametreleri h_2 , r_2 ve t_4 olduğunda 39,03 MPa'da görülmektedir. Yani gerilme miktarı 35 MPa'dan 39,03 MPa değerine yükseldiği buna göre oluşan gerilme değerinin akma dayanımına göre %11,5 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu tasarımda plastik parçada h= 3 mm ve r = 0,2 mm ve t = 1,35 mm değerinde kalıcı deformasyon meydana geldiği ve plastik parçanın deformasyona maruz kalan bölgesinin kullanılamaz duruma geldiği belirlenmiştir. Ancak kalıcı deformasyonun miktarı plastik parçada minimum deformasyon olarak tespit edilmiştir. Bu tasarımda maksimum deformasyon miktarı 1,82 mm'de tespit edilmiştir. Ayrına, en düşük gerilme değerinin feder parametreleri h_5, r_1 ve t_5 olduğunda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme değeri 35 MPa'dan 29,35 MPa'a düşmüş olup, gerilme değeri federsiz parçaya göre yaklaşık % 16 azalmaktadır. Feder parametreleri h_5, r_1 ve t_5 olan bu parçada deformasyon miktarının ise 1,83 mm olduğu belirlenmiştir.

5.2.5. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1° sabit tutulmaktadır)

EK-1- k ve l 'de görüldüğü gibi, B yüzeyinde uygulanan basınca bağlı olarak gerçekleşen en yüksek gerilme değerinin h = 10,125 mm, r = 0,2 mm ve t = 0,9 mm feder parametreleriyle yapılan tasarımda olduğu belirlenmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 38,62 MPa'a artarak gerilme miktarı %10,3 artmaktadır. Gerilme miktarı akma dayanımından fazla olduğu için parçada plastik deformasyon görülmektedir. Kalıcı

deformasyonun değeri 0'ile 0,2 mm aralığında parçanın minimum deformasyonu olarak tespit edilmiştir. Bahsi geçen bu parçada deformasyon miktarının ise 1,86 mm olduğu belirmenmiştir. Parçanın deformasyonu federsiz parçanın deformasyonundan fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu parametrelerde tasarlanan feder parçanın gerilme ve deformasyonunu olumsuz etkilemiştir.

En düşük gerilme feder parametrelerinin h = 3 mm, r = 0,001 ve t = 2,025 mm olduğu tasarımda 35 MPa'dan 26,3 MPa'a düştüğü buna göre gerilme miktarının akma dayanımına göre yaklaşık %25 azaldığı belirlenmiştir. Bunun yanında, h = 3 mm, r = 0,001 ve t = 2,025 mm parametreleri ile yapılan bu tasarımda maksimum deformasyon miktarı 1,79 mm olduğu belirlenmiştir. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak gerçekleşen gerilmeler incelendiğince, en yüksek ve en düşük gerilme değerleri arasında %35,3 oranında bir fark olduğu belirlenmitir.

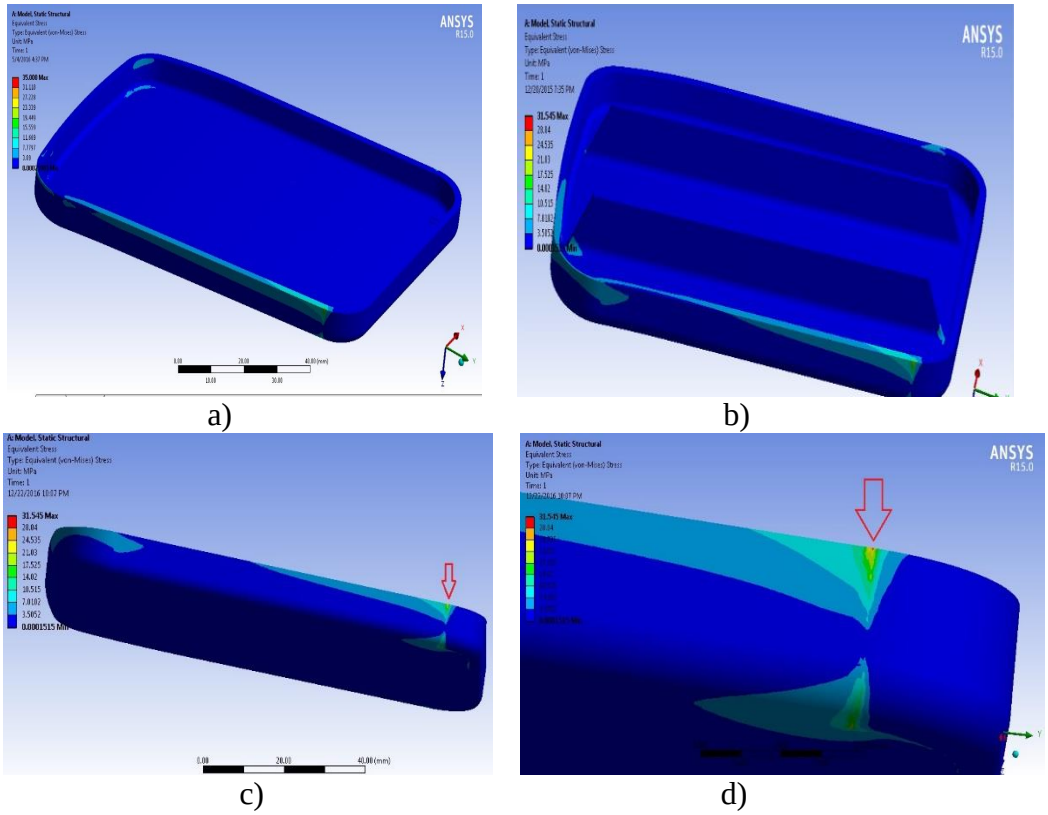
5.2.6. B yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2° sabit tutulmaktadır)

EK-1- k ve l 'de verilen gerilme değerlarine göre feder parametreleri h = 2 mm, r = 0,4 mm ve t = 0,9 mm olduğunda en yüksek gerilme gerçekleşmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 41,91 MPa'a artmasıyla gerilme oranı federsiz parçaya göre %19,7 artmaktadır. Gerilme miktarı akma dayanımını geçtiği için plastik parçada gerilmenin maksimum olduğu bölgede plastik deformasyon oluşmaktadır. Dolayısıyla bu bölgelerde kalıcı deformasyon meydana gelmektedir. Bu parçada kalıcı deformasyon miktarı 0'ile 0,2 mm aralığında ve maksimum deformasyon miktarı 1,82 mm'de belirlenmiştir.

En düşük gerilme feder parametreleri h = 4,5 mm, r = 0,4 mm ve t = 2,025 mm olduğunda tespit edilmiştir. Deformasyon miktarı 35 MPa'dan 28,21 MPa'a düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %19,5 azalmaktadır. Gerilme miktarı akma dayanımını geçmemektedir dolayısıyla bu tasarımda kalıcı deformasyon oluşmamış. Bu parçada maksimum deformasyon miktarı 1,79 mm'de görülmektedir. En yüksek ve en düşük gerilme arasında yaklaşık %39 fark bulunmaktadır.

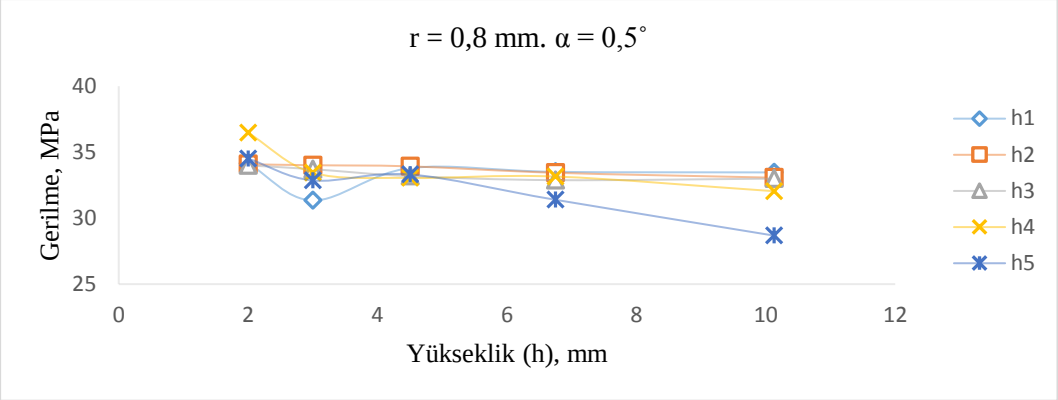
5.2.7. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır)

Şekil 5.37'de verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan gerilme miktarları ve gerilme analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada C yüzeyinden (köşeden) uygulanan basınç sonucu oluşan gerilme Çizelge 4.6'da verildiği gibi 35 MPa iken yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımdaki gerilme miktarının 31,54 MPa olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Gerilme oranı yaklaşık %10azalmaktadır.



Şekil 5.38. C yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. a) Federsizplastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, α = 0,5 º), c,d) Federli parçada oluşan gerilmenin yoğunlaştığı bölge

Şekil 5.37'de verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan gerilme miktarları ve gerilme analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada C yüzeyinden (köşeden) uygulanan basınç sonucu oluşan gerilme Çizelge 4.6'da verildiği gibi 35 MPa iken yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımdaki gerilme miktarının 31,54 MPa olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Gerilme oranı yaklaşık %10 azalmaktadır.



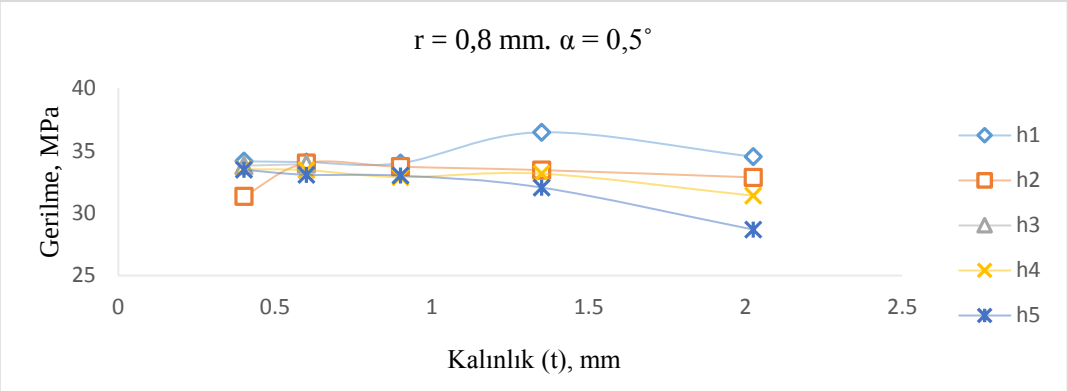
Şekil 5.39. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.38'de görülmektedir. Feder parametreleri r = 0,8 mm ve α = 0,5° olarak sabit tutulmuştur. Bu garafiğin incelemesinde yüksekliğin değişimi plastik parçanın gerilmesinin üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir. En yüksek gerilmeğe neden olan tasarım hariç, diğer tasarımlarda oluşan gerilmeler akma dayanımını geçmemektedir. En yüksek gerilme h = 2 mm'de ve t = 1,35 mm'de olduğunda gerçeklenmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 36,46 MPa'da belirlenmiştir. Yani gerilme miktarı akma dayanımını geçerek parçada kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Şekil 5.38'de verilen grafikte feder kalınlığı t_5'te ve yükseklik h = 10,125 mm'de olduğunda gerilme miktarı en düşük miktarda yani 28,86 MPa'da tespit edilmiştir.

C yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yarıçapta federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-8-a'da görülmektedir. Feder t = 1.35 mm ve α =0.5° de sabit tutulmuştur. Bu garfiktede yüksekliğin artması gerilme üzerinde etkili olmamıştır. Sadece iki tasarımda oluşan gerilme akma dayanımını geçmektedir.

En yüksek gerilme feder parametreleri h = 2 mm ve r = 0,8 mm'de gerçekleşmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 36,46 MPa'da tespit edilmiştir. dolayısıyla bu parametrelerde oluşan federde gerilme miktarı akma dayanımını geçmektedir. Feder yarıçapı r_3 ve h_4 olduğunda en düşükgerilme belirmenmiştir. Gerilme miktarı 29,27 MPa olarak tespit edilmiştir.

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-8-b'de görülmektedir. Feder r = 0,8 mm de, t = 1,35 mm'de sabit Feder yüksekliğinin etkisi her üç açıda gerilme üzerinde anlamlı olmamaktadır. Sadece en yüksek gerilme ye neden olan tasarımda gerilme miktarı akma dayanımını geçmektedir. En yüksek gerilme akma dayanımı geçmesile plastik parçada kalıcı deformasyona sebeb olmuştur. Bu gerilme feder parametreleri h = 2 mm ve α= 0,5°'da tespit edilmiştir. Tasarım parametreleri h_5 ve α_2 olduğunda en düşük gerilme gerçekleşmiştir. Bu parametrelerde gerilme 30,54 MPa'da belirlenmiştir.



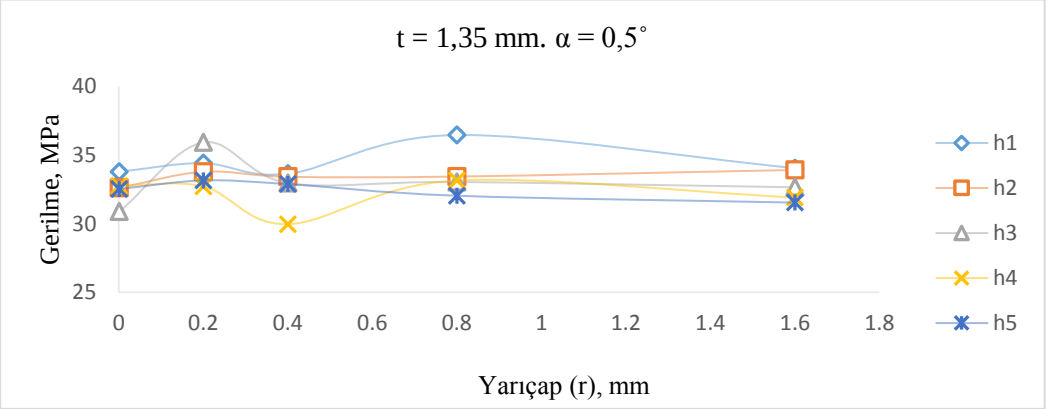
Şekil 5.40. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklere sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.39'da görülmektedir. Federin r = 0,8 mm ve α = 0,5° sabit tutulmüştur. Bu grafikte h_4 ve h_5 olduğunda kalınlığın artması gerilme miktarını nisbeten düzenli şekilde düşürmektedir. Ancak diğer yüksekliklerde gerilmenin değişimi anlamlı bulunmamaktadır. En yüksek gerilmeğe sebeb olan tasarım hariç, diğere tasarımların hepsei akma dayanımın altında kalmışlardır. En yüksek gerilme 36,46 MPa'da feder parametreleri t_4 ve h_1 olduğnda gerçekleşmiştir. En düşük gerilme değeri feder parametrelerinin h_5, t_5, r_4 ve α_1 olduğu tasarımında 28,26 MPa'da belirlenmiş.

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki gerilme oranının üzerinde etkisi EK-8-c'de görülmektedir. Bu grafikte feder yarıçapının r_4 ile r_5 olduğunda kalınlığın artması gerilme miktarını çok az olsa da düşürmüştür. r_1 ile r_2 ve r_3 yarıçaplarında kalınlık değişiminin gerilme üzerinde

anlamlı bir etkisi tespit edilememiştir. Bu grafiktede en yüksek gerilme feder parametreleri r = 0,2 mm ve t = 1,35 mm olduğunda 35,92 MPa'da gerçeklenmiştir. En düşük gerilme değerinin r = 0,001 mm ve t = 1,35 mm olduğu tasarımda 30,88 MPa olduğu belirmenmiştir.

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin t_1-t_5 mm kalınlıklarında değişiminin deformasyon oranının üezerin etkisi EK-8-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Bu grafikte bütün tasarımlarda oluşan gerilme akma dayanımını geçmediklerine rağmen kalınlığın değişiminin etkisi gerilme üzerinde anlamlı bulunmamıştır. Ancak α_1 olduğunda kalınlığın artmsı nisbeten düzenli şekilde gerilmeni düşürmektedir. En yüksek gerilme 34,54 MPa'da ve en düşük gerilme 30,56 MPa'da belirlenmiştir.



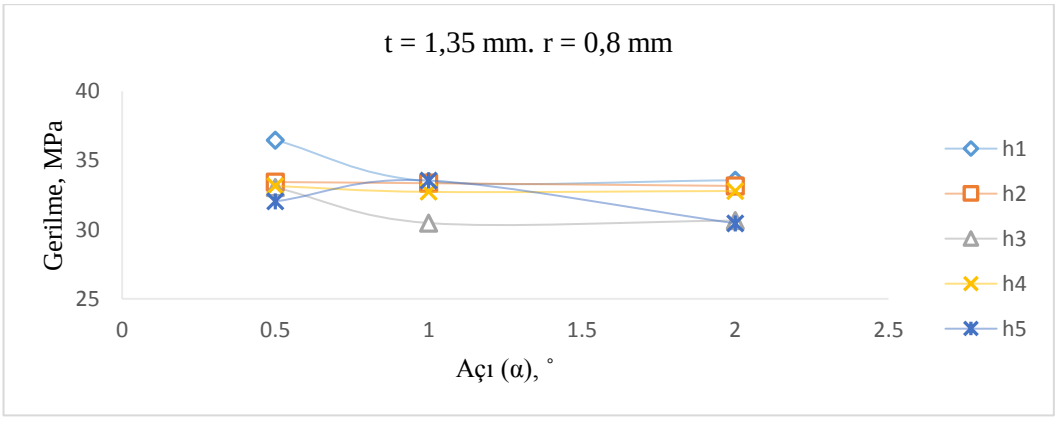
Şekil 5.41. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.40'da görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 mm ve α = 0,5º olmak üzere sabit tutulmuştur. Yarıçapın değişiminin gerilme üzerinde etkisi anlamlı bulunmamaktadır. Ancak h_2 olduğunda gerilmenin artmasına ve $h_5$olduğunda gerilmenin düşüşüne neden olmuştur. En yüksek gerilme r_4 ve h_1 olduğunda ve en düşük gerilme r_3 ve h_4'te tespit edilmiştir. Bu tasarımlarda gerilme miktarı sırayla 36,46 MPa ve 29,97 MPa'da belirlenmiştir.

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda ve feder parametrelerinden h = 4,5 mm'de ve α =0,5º sabit olduğu ve feder yarı çaplarının 0, 0,2; 0,4; 0,8 ve 1.6 mm'deki

değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-4-e'de görülmektedir. Yarıçap r = 0,001 mm'den r = 0,8 mm'ye artmasıyla gerilme üzerinde etkisi anlamlı olmamıştır. Ancak r = 0,8 mm'den r = 1,8 mm'ye artarken gerilme miktarı değişmemektedir. En yüksek gerilme hariç, diğer tasarımlarda oluşan gerilme akma dayanımın altında görülmektedir. En yüksek gerilme feder parametreleri r_2 ve t_4 olduğunda ve en düşük gerilme feder parametreleri r_2 ve t_3'te tespit edilmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35,92 MPa ve 31,02 MPa'da belirlenmiştir.

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-8-f'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik ve kalınlığın sırasıyla h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm olarak sabit tutulmuştur.Bu garafikte yarıçapın artmasının gerilme üzerinde etkisi anlamsın olduğu belirlenmiştir. Ancak yarıçap r = 1,6 mm olduğunda her üç açıda gerilme miktarı yaklaşık aynıdır. En yüksek gerilme hariç, diğer tasarımlarda oluşan gerilme akma dayanımın altında görülmektedir. Gerilme miktarı 35,92 MPa olduğunda en yüksek gerilme ve gerilme 30,65 MPa olduğnda en düşük gerilme tespit edilmiştir.



Şekil 5.42. C yüzeyden uygulanan basınçta gerilme miktarının feder yüksekliğine bağlı olarak değişimi

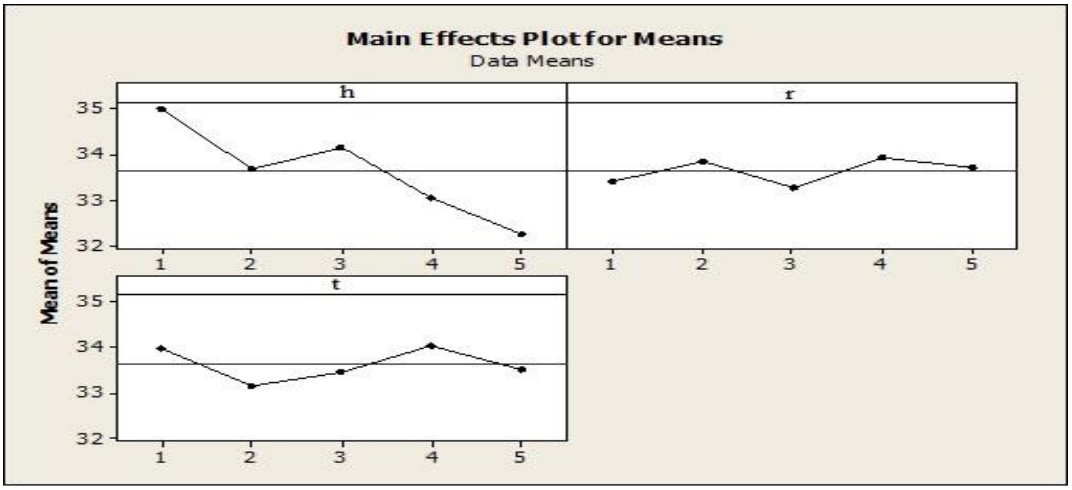
C yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5; 1 ve 2° açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5.41'de görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. Feder yüksekliği h_2 ve h_4 olduğunda yarıçapın değişimi gerilme miktarını değişmemektedir. Ancak diğer yarıçaplarda açı değişiminin gerilme üzerinde etkisi anlamlı bulunmamaktadır. En yüksek gerilmede, gerilme miktarı akma dayanımını geçmiştir dolayısıyla plastik parçada kalıcı deformasyon oluşmaktadır. α_1 ve h_1 olduğunda gerilme miktarı 36,46 MPa'da en yüksek

gerilme olarak belirlenmiştir. En düşük gerilme feder parametreleri α_1 ve h_3 olduğunda, 30,48 MPa'da belirlenmiştir.

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarında deformasyon oranında etkisi EK-4-j'de görülmektedir. Feder parametresi h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Bu grafiğin analizinde feder açısının değişimi gerilme üzerinde etkisi anlamsız olduğu tespit edilmiştir.Ancak feder kalınlığı t_3 olduğunda açının artması gerilme miktarını az da olsa artmaktadır. Tüm gerilmeler akma dayanımını geçmemektedir. En yüksek gerilme feder parametreleri $\alpha = 2^o$ ve t = 0,6 mm olduğunda ve en düşük gerilme $\alpha = 1^o$ ve t = 1,35 mm'de belirlenmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı sırayla 34,57 MPa ve 30,47 MPa'da bulunmaktadır.

C yüzeyden uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi EK-8-h'de görülmektedir. Bu grafikte yükseklik h = 4.5 mm ve kalınlık t = 1.35 mm sabit tututlmuştur. Feder yarıçapı r5 olduğunda açının değişmesi gerilmeni değişmemektedir. ancak açı değişiminin gerilme üzerinde etkisi diğer yarıçaplarda anlamlı bulunmamaktadır. Feder parametreleri α_1 ve h_2 olduğunda gerilme miktarı 35,92 MPa'da en yüksek gerilme olarak belirlenmiştir. En yüksek gerilmede, gerilme miktarı akma dayanımını geçmiştir dolayısıyla parçada plastik deformasyon oluşmamaktadır. En düşük gerilme 30,47 MP'da ve feder parametreleri α_2 ve r_4 olduğunda gerçekleşmiştir.

Ggerilme Üzerinde C Yüzeyinden Yugulanan Basıncın Etkisi ($\alpha = 0.5^o$ sabit tutulmaktadır).



Şekil 5.43. C yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri

Şekil 5.42'de C yüzeyinden uygulanan basınçta feder yüksekliği(h), feder yarıçapı(r), feder kalınlığı(t) nin gerilme üzerinde etkilerinin Taguchi yöntem ile analizinin sonuçları gösterilmektedir.

Şekil 5.42'de C yüzeyinde uygulanan basınçta yükseklik yarıçap ve kalınlığın değişiminin etkisi gerilme üzerinde görülmektedir. Önceki yüzeylere basınç uygulandığı gibi C yüzeyindede uygulanan basınçta parametrelerin değişimelerinin etkisi gerilme miktarının değişiminde düzenli şekilde bulunmamaktadır. Feder yüksekliğile ilgili grafikte en yüksek gerilme yükseklik h_2 ve en düşük gerilme yükseklik h5 olduğunda tespit edilmiştir. Bu aralıkta gerilme yaklaşık %8,5 azalmaktadır. Feder yarıçapıyla ilgili grafikte en düşük gerilme yarıçap r_3'te ve en yüksek gerilme yarıçap r_4 olduğunda meydana gelmektedir. Bu aralıkta gerilme yaklaşık %2 artmaktadır. Feder kalınlığıyla ilgili grafikte en yüksek gerilme kalınlık t = 1 mm'de ve en düşük gerilme t = 2 mm'de tespit edilmiştir. Bu aralıkta gerilme oranı yaklaşık %3 azalmaktadır. En yüksek gerilme feder parametreleri h_1, r_4 ve t_1 olduğunda bulunmaktadır. Bu parametrelerde gerilme 34,14 MPa'da görülmektedir. Gerilme miktarı akma dayanımından az olmuştur (%2,45 düşmüştür). Parça elastik bölgesinde kaldığı için kalıcı deformasyon bulunmamaktadır. En düşük gerilme feder parametreleri h_5,r_3 ve t_2'de olduğunda görülmektedir. Plastik parça bu parametrelerde gerilme miktarı 35 mpa'dan 30,92 MPa'a düşerek gerilme oranı Federsiz parçaya göre yaklaşık %12 azalmaktadır.

EK-1- m ve n'de verilen gerilme değerlere göre en yüksek gerilme h = 2 mm, r = 0,8 mm ve t = 1,35 mm olduğunda görülmektedir. Bu tasarımda gerilme miktarı 35 MPa'dan 36,46

MPa'a artarak gerilme oranı %4,1 artmaktadır. Dolayısıyla plastik parçada kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Bu tasarımda kalıcı deformasyon miktarı 0'ile 0,34 mm aralığında ve maksimum deformasyon miktarı ise 3,14 mm'de belirlenmiş. Kalıcı deformasyon değeri parçada oluşan minimum deformasyon değerile eşit olduğu tespit edilmiştir. En düşük gerilme h = 10,125 mm, r = 0,8 mm ve t = 2,025 mm olduğunda gerçekleşmiştir. Gerilme miktarı 35 MPa'dan 28.68 MPa'a düşmüş yani gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %18 azalmaktadır. EK- 1 de bulunan En düşük gerilme Taguchi grafiğinde bulunduğu gerilmeden %7 az olduğu tespit edilmiştir. Bu parçada maksimum deformasyon miktarı 2,48 mm'de tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük gerilme arasında %21,1 fark bulunmaktadır.

5.2.8. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1° sabit tutulmaktadır)

EK-1- m ve n'de görüldüğü değerlere göre, C yüzeyinden uygulanan basınçta en yüksek gerilme h = 2 mm, r = 1,6 mm ve t = 0,9 mm parametreleriyle yapılan tasarımda gerçekleşmiştir. Bu tasarımda grlirme miktarı 35 MPa'dan 42,35 MPa'a artarak gerilme oranı %21 artmaktadır. Gerilme miktarı akma dayanımını geçteği için parçanın gerilmesinin maksimum olduğu yerlede 0'ile 0,34 mm aralığında kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Bu parçada maksimum deformasyon ise 3,13 mm'de tespit edilmiştir. Deformasyon değere federsiz parçaya göre düşmesine rağmen gerilme miktarı akma dayanımını geçtiği için bu parça kullanılmamaktadır. En düşük gerilme feder parametreleri h = 6,75 mm , r = 0,001 ve t = 0,6 mm olduğunda tespit edilmiştir. Bu tasarımda deformasyon miktarı 35 MPa'dan 30,04 MPa'a düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %14 azalmaktadır. Bu parametreleder gerilme miktarı akma dayanımından az olduğu için parçada elastik deformasyon oluşmaktadır. Parçanın deformasyonu 3,05 mm'de görülmektedir. C yüzeyinden uygulanan basınçta en yüksek ve en düşük gerilme arasında %35 fark olduğu belirlenmiştir.

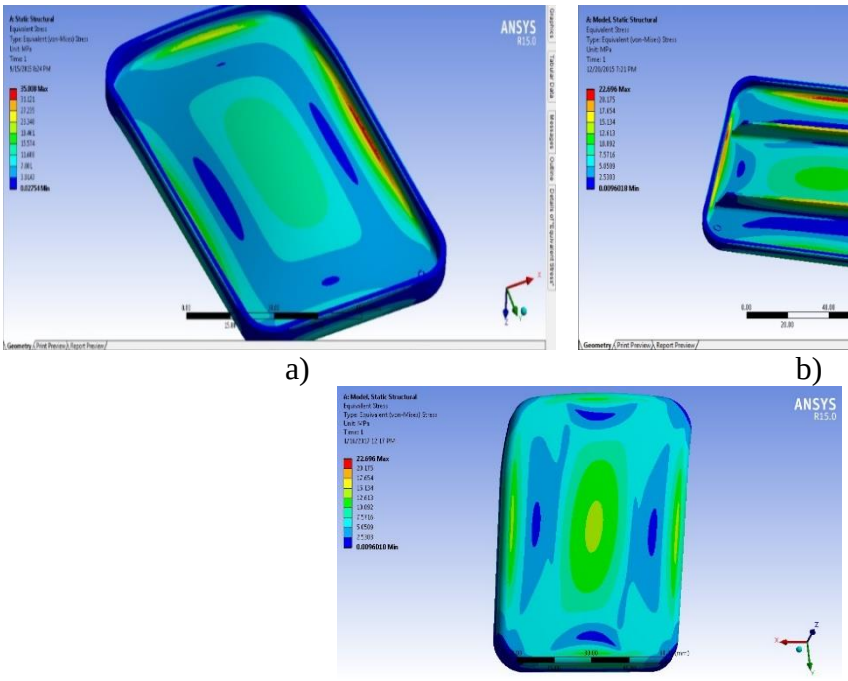
5.2.9. C yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2° sabit tutulmaktadır)

EK-1- m ve n'de görülduğu değerelere göre en yüksek gerilme feder parametreleri h = 3 mm, r = 0,8 mm ve t = 0,4 mm olduğu tasarımd tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 37,81'la artmasıyla gerilme oranı akma dayanımına göre %8 artmaktadır. Gerilme miktarı akma dayanımınıdan fazla olduğu için plastik parçada

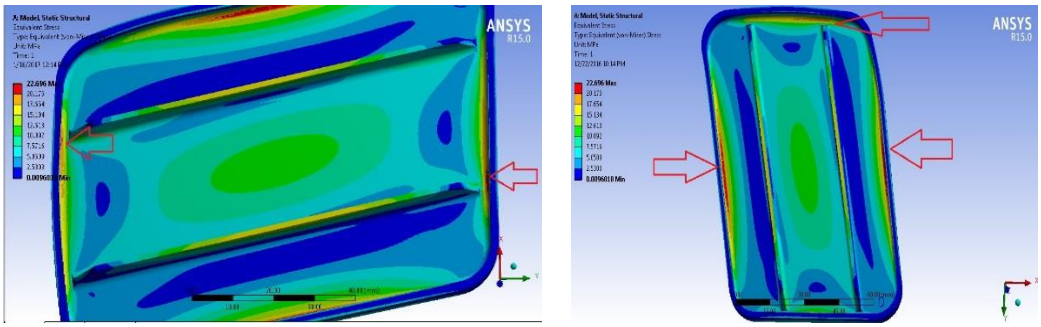
gerilme maksimum olduğu yerlerde plastik deformasyon 0,34 mm değerinde oluşmaktadır. Bu parçada maksimum deformasyon 3,18 mm‘de tespit edilmiştir. Deformasyon değeri federsiz parçaya göre çok az miktarda düşmüştür. Feder parametreleri h_3, r_1 ve t_5 olduğunda en düşük gerilme gerçekleşmiştir. Bu tasarımda deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %14,5 azalmaktadır (35 MPa’dan 29,85 MPa’a düşmüştür). Bu parçada deformasyon 2,93 mm‘de tespit edilmiştir. Gerilme minimum olduğu zaman deformasyon miktarıda en yüksek gerilmede oluşan deformasyona göre düşmüştür. En yüksek ve en düşük gerilme arasında yaklaşık % 22,5 fark bulunmaktadır.

5.2.10. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 0,5˚ sabit tutulmaktadır)

Şekil 5.43’te verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan gerilme miktarları ve gerilme analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada D yüzeyinden (arkadan) uygulanan basınç sonucu oluşan gerilme Çizelge 4.6’da verildiği gibi 35 iken yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımdaki gerilme miktarının 22,68 MPa olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Gerilme oranı yaklaşık 35% azalmaktadır.

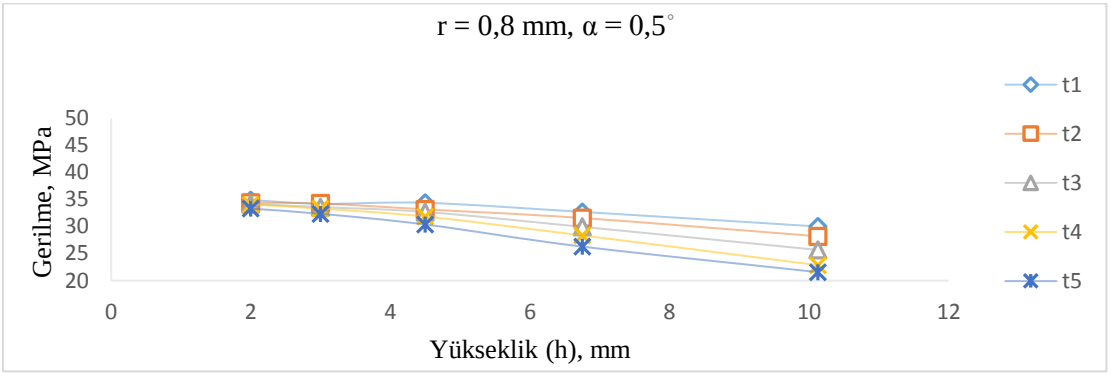


Şekil 5.44. D yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. a) Federsiz plastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, α = 0,5º), c) Federli plastik parça arkadan görüntüleri (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, α = 0,5º)



d) e)

Şekil 5.43. (devam) D yüzeyine uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları. a) Federsiz plastik parça, b) Federli plastik parça (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, α = 0,5°), c) Federli plastik parça arkadan görüntüleri (h = 10,125 mm, r = 1,6 mm, t = 1,35mm, α = 0,5°)



Şekil 5.45. D yüzeyine uygulanan basınçta fraklı kalınlıkta federin yüksekliğin gerilme üzerinde etkisi

D yüzeyiden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.44'te görülmektedir. Federin r = 0,8 mm ve α = 0,5° sabit tutulmüştur. Şekilde 5.52'de görüldüğü gibi federin yüksekliğinin artması gerilme olranını azalmaktadır. Feder yüksekliğile gerilme arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca feder Kalınlığının artması parçanın gerilme miktarını artmaktadır, ancak yüksekliğe göre daha az bir etkiye sahiptir.

Yüksek kalınlıklarda yüksekliğin artması gerilme oranının azaltmasında daha etkili olduğu tespit edilmiştir. En yüksek gerilme feder parametreleri h = 2 mm ve t = 0,4 mm olduğunda gerçeklenmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 34,9 MPa'da belirmenmiştir. Gerilme miktarı akma dayanımını geçmmediği için bu tasarımda oluşan deformasyon kalıcı olmamaktadır. En düşük gerilme, feder h_5 yükseklikte ve t_5 kalınlığında meydana gelmektedir, bu kalınlıkta yüksekliğin artmasıyla gerilme miktarını 33,32 MPa'dan 21,57

MPa'a düşürerek gerilme oranını yaklaşık %35 oranda azaltmaktadır. Yani plastik parçada federin üyksekliği et kalınlığının 5 katı ve kalınlığı et kalınlığıyla eşit olduğunda gerilme oranının %35 azalmaktadır. Ayrıca feder parametreleri h_5 ve t_5 olduğunda, plastik parçanın gerilmesi miktarı 35 Mpa'dan 21,57 Mpa'düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre %38,5 azalmaktadır.

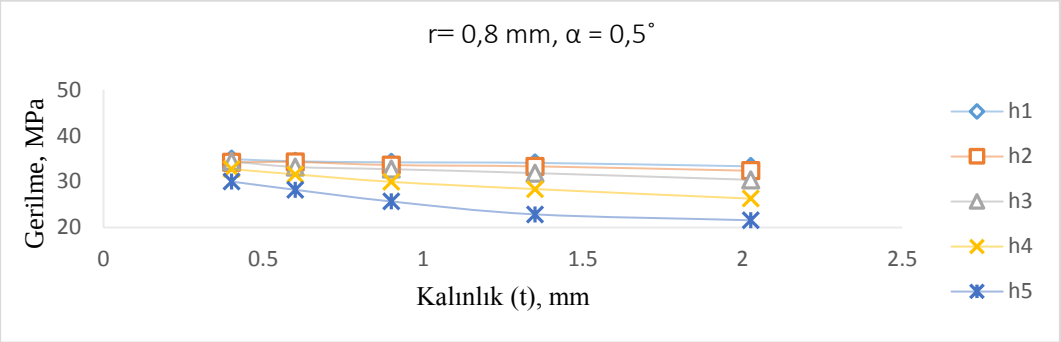
D yüzeyiden uygulanan basınçta farklı yarıçapta federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-9-a'da görülmektedir. Federin kalınlığı t = 1,35 mm ve feder açısı $\alpha = 0.5^{o}$'te sabit tutulmüştur . Feder yüksekliğin artmasıyla deformasyon oranı azalmaktadır. Ancak feder yarıçapın r = 0,001 mm dan r = 0,2 mm' ye artması düşük yüksekliklerde, yani h = 2 mm, h = 3 mm olduğunda parçanın gerilmesini artmaktadır. Feder yarıçapı r = 0,8 mm ve h = 10,125 mm olduğunda gerilme eğimi hızla düşmektedir bu aralıkta yarıçapın değişime gerilme üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Feder yarıçapı r = 0,2 mm olduğunda gerilme miktarı diğer yarıçaplara göre artmaktadır. En yüksek gerilme feder parametreleri h = 3 mm ve r = 0,2 mm olduğunda gerçeklenmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 45,88 MPa'a aetarak gerilme oranı %31 artmaktadır. Bu tasarımda gerilme miktarında ciddi artış görülmektedir. Yani kalıcı deformasyon oluşmaktadır.

En çok yükseklik, en düşük gerilmeğe sebep olmuştur. h = 10,125 mm feder yüksekliğinde ve r = 1,6 mm feder yarıçapında en düşük gerilme meydana gelmektedir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 33,41 MPa'dan 22,69 MPa'a düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre %32 azaltmaktadır . En düşük gerilme oluştuğunda gerilme miktarı 35 MPa dan 22,69 MPa düşmüş yani gerilme oranı federsiz plastik parçaya göre yaklaşık %35 azalmaktadır.

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda federin 2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm yüksekliklerde değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-9-b'de görülmektedir. r = 0,8 mm'de, t = 1,35 mm'de sabit tutulmuştur. Açının değişimi gerilmeda çok etkili olmamaktadır yani tüm açılarda gerilme miktarı yaklaşık aynıdır. Ancak yüksekliğin artmasıyla gerilme az da olda artmaktadır. Ayrıca yüksekliğile açının arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu tespit edilmiştir.

En yüksek gerilme feder yüksekliği h = 2 mm olduğunda belirlenmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 33,9 Mpa olduğu için plastik parçada plastik davranışlar bulunmamaktadır yani kalıcı deformasyon oluşmamıştır. Açı = 0.5^{o} ve h = 10,125 mm olduğunda en düşük gerilm görülmektedir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 34,07 MPa'dan 22,86 MPa'a düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre %33 azaltmaktadır. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 Mpa'dan 22,86 Mpa'a düşerek Plastik parçada gerilme oranı federsiz parçaya göre %35 azalmaktadır.



Şekil 5.46. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder kalınlığının gerilme üzerinde etkisi

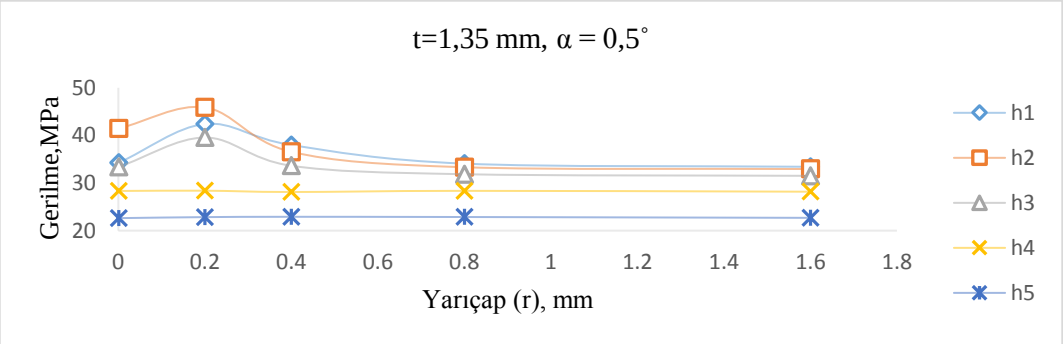
D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklardaki değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.45'te görülmektedir. Kalınlığın artması, gerilmenin azalmasına sebep olmuştur. kalınlığıyla gerilme arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmektedir.

Feder parametreleri t = 0,4 mm ve h = 2 mm olduğunda en yüksek gerilme 34,90 MPa'da gerçekleşmiştir. Gerilme miktarı akma dayanımının altında bulunmaktadır yani bu tasarımda kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. Yükseklik arttıkça kalınlığın etkisi gerilme üzerinde daha çok olduğu ve en düşük gerilme en yüksek kalınlık ve yükseklikte görülmektedir. Dolayısıyla h = 6,75 mm ve h = 10,125 mm yüksekliklerinde kalınlığın artması gerilmenin düşürmesinde çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Kalınlık artması, feder yüksekliği h = 10,125 mm olduğunda gerilme oranını yaklaşık %37,5 azalmasına neden olmuştur. Yani plastik parçada federin kalınlığı en kalınlığıyla eşit ve yükseklik et kalınlığın 5 katı olduğunda en düşük gerilme görülmektedir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 34,39 MPa'dan 21,57MPa'a düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre %37,5 azaltmaktadır. Feder parametreleri t_5 ve h_5 olduğunda en düşük gerilmr tespit edilöiştir. Bu

parametrelerde plastik parçanın gerilmsi miktarı 35 Mpa'dan 21,57 Mpa'a dülerek gerilme oranı federsiz parçayla karşılaştırdığında %38 azalmaktadır.

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapa sahip federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarındaki gerilme oranının üzerinde etkisi EK-9-c'de görülmektedir. Feder yarıçapı r = 0,2 olduğunda tüm kalınlıklarda oluşan gerilme akma dayanımını geçmektedir. Yani r_2 olduğu zaman plastik parçada kalıcı deformasyon gerçekleşmiştir. En yüksek gerilme feder parametreleri t_3 ve r_2 olduğunda belirlenmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 40,08 MPa'da tespit edilmiştir. Diger yarıçaplada oluşan gerilme akma daynımının altında kalmıştır. En düşük gerilme feder parametreleri r_1'ile r_4 ve feder kalınlığı t_5 olduğunda 30,3 MPa'da gerçekleşmiştir. Gerilme oranı federsiz parçaya göre %13,4 düşmüştür.

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda federin 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarında değişiminin gerilme oranının üezerin etkisi EK-9-d'de görülmektedir. Burada h = 4,5 mm'de ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur. Kalınlığın artmasıyla gerilme azalmaktadır. Açının artması parçanın gerilmesinde etkili olmamıştır. Her üç açıda gerilme miktarı yaklaşık eşittir. Feder kalınlığı t = 0,4 mm olduğunda en yüksek gerilme gerçekleşmiştir. Bu tasarımda gerilme miktarı 34,54 MPa'da tespit edilmiştir. gerilme miktarı akma dayanımını geçmediği için parçada kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. En düşük gerilme α = 0.5, 1° ve t = 2,025 mm olduğunda bulunmaktadır. Bu parametrelerde gerilme miktarı 34,39 MPa'dan 30,38 MPa'a düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre %12 azaltmaktadır. Ayrıca federsiz parçaya göre gerilme miktarı 35 MPa dan 30,38 MPa düşmüş yani gerilme oranı yaklaşık %12 azalmaktadır.



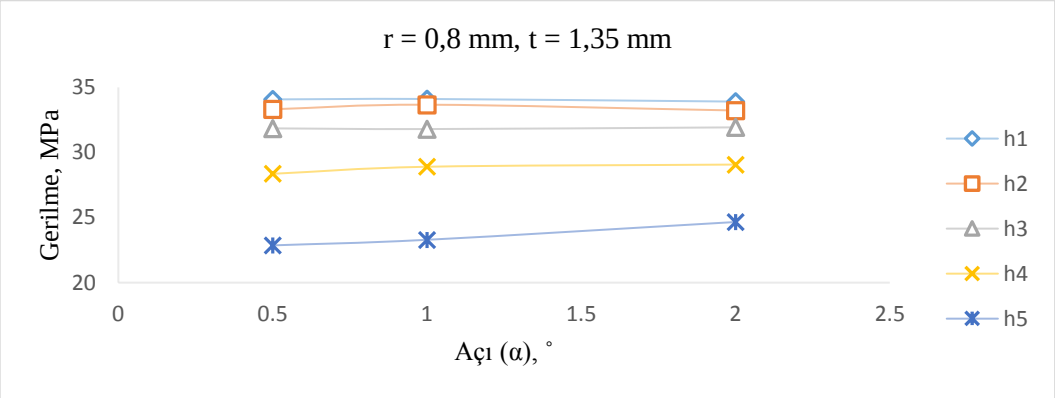
Şekil 5.47. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder yarıçapının gerilme üzerinde etkisi

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.46'da görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t = 1,35 mm ve $\alpha = 0{,}5^{o}$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Düşük yüksekliklerde (h_1, h_2, h_3) yarıçapın r = 0,001 mm'den r = 0,2 mm'ye artması gerilme oranını artmaktadır. Ancak yarıçapın artmasıyla r = 0,2 mm'den r = 0,4 mm'ye, gerilme oranı düşmektedir. r = 0,8 mm'ile r = 1,6 mm aralığında gerilme oranı değişmemektedir. Düşük yüksekliklerinde yarıçapı r = 0,2 mm'de olduğunda gerilmenin artmasında etkli olduğu tespit edilmiştir. h = 6,75 mm ve h=10,125 mm olduğunda yarıçapın artması gerilme oranında etkili olmadığı görülmektedir.

En yüksek gerilme r2 ve h2 olduğunda gerçekleşmiştir. Gerilme miktarı 35 MPa'dan 45,88 MPa'a artarak gerilme oranı %31 artmaktadır. En düşük gerilme h = 10,125 olduğunda bulunmaktadır. Yarıçap r = 1,6 mm olduğunda yüksekliğin artması gerilme miktarını 33,41 MPa dan 26,9 MPa düşürerek gerilme oranını %32 azaltmaktadır . r = 1,6 mm'de ve h= 10,125 mm'de en düşük gerilme belirlenmiştir. En düşük gerilmeda Plastik parçanın gerilmsi federsiz plastik parçaya göre yaklaşık %35 azalmaktadır (35 MPa dan 22,69 MPa düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda ve feder parametrelerinden h = 4,5 mm'de ve $\alpha = 0{,}5^{\circ}$ sabit olduğu ve feder yarı çaplarının 0, 0,2; 0,4; 0,8 ve 1.6 mm'deki değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-9-e'de görülmektedir. Tüm kalınlıklarda yarıçapın r = 0,001 mm'den r = 0,2 mm'ye artması gerilmeni artmaktadır. Feder yarıçapı r = 0,2 mm olduğunda gerilme miktarı bütün kalınlıklarda en yüksek miktarda tespit edilmiştir. Ancak yüksek kalınlıklarda (t = 1,35 mm ve t = 2,025 mm'de) gerilme üzerinde etkisi çok olduğu görülmektedir. Yarıçapın r = 0,2 mm'den r = 0,4 mm'ye değişimi gerilme miktarını azaltmaktadır. r = 0,4 mm'ile r =1,6 mm aralığında yarıçapın değişimi gerilmeğe değişmemektedir. En yüksek gerilme feder parametreleri r_2 ve t_5 olduğunda 39,94 MPa'da gerçekleşmiştir. Dolayısıyla parçada plastik deformasyon oluşmaktadır. En düşük gerilme t = 20,25 mm ve r = 0,8 mm de bulunmaktadır. Bu parametrelede gerilmenin miktarı r = 0,001 mm'de bulunduğu gerilmeğe göre değişmemektedir. Kalınlığın artması gerilme miktarını 34,39 MPa dan 30,38 MPa düşerken gerilme oranını %11,5 azaltmaktadır. federsiz parçayla karşılaştırdığında gerilme oranı yaklaşık %12 azalmaktadır (35 Mpa'dan 30,38 Mpa'a düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı açılarda feder 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarda değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-9-f'de görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. Tüm açılarda yarıçapın r = 0,001 mm'den r = 0,2 mm'ye artmasıyla gerilme artmaktadır ancak r = 0,2 mm ile r = 0,4 mm aralığında gerilme azalmaktadır. r = 0,4mm ile r = 1,6 mm aralığında açının artmasıyla gerilme değişmemektedir. En yüksek gerilme r_2 olduğunda tespit edilmiştir. Bu yarçapda gerilme miktarı her üç açıda yaklaşık eşittir. 39,54 MPa'da bulunan gerilme %13 akma dayanımını geçmektedir. $\alpha = 2^o$ olduğunda yarıçapın artması gerilme miktarını 35,73 MPa'dan 31,55 MP'a düşürerek gerilme oranını %12 azaltmaktadır. Federsiz plastik parçaya göre gerilme oranı %10 azalmaktadır (35 MPa'dan 31,55 MPa'a düşmüştür).



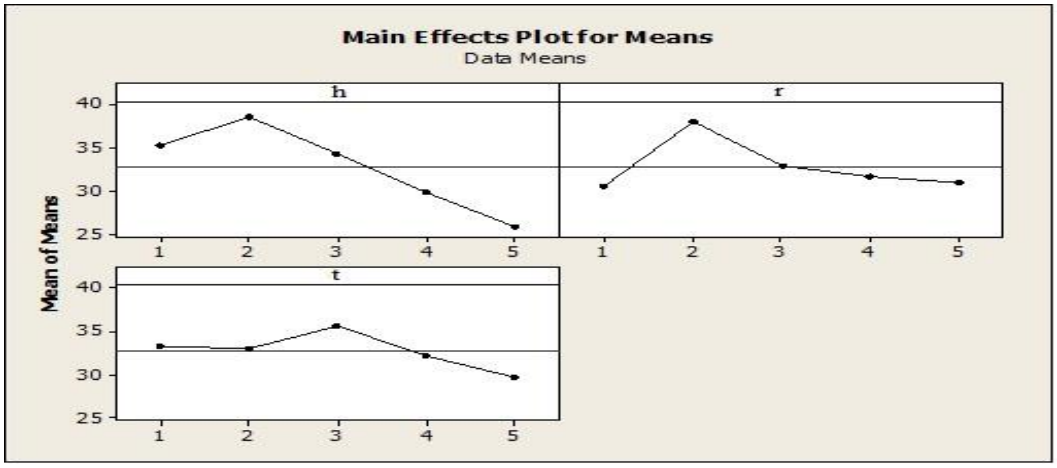
Şekil 5.48. D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yükseklikte feder açısının gerilme üzerinde etkisi

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi Şekil 5.47'de görülmektedir, yarı çap değeri r = 0,8 mm ve feder kalınlığı t = 1,35 mm sabit tutulmuştur. Düşük yüksekliklerde açının artması gerilme miktarını değişmemektedir ancak feder yüksekliği arttıkça açının artması gerilme miktarını artmaktadır. Yüksek lik h5 olduğunda açının artması gerilme oranını %8 artmaktadır (22,86 MPa'dan 24,65 MPa'a artmıştır). Feder kalınlığı h_1 olduğunda en yüksek gerilme gerçekleşmiştir. Bu yarıçapta Açı $\alpha = 2^o$ olduğu zaman gerilme miktarı 33,09 MPa'da tespit edilmiştir. En düşük gerilme h_5 ve açı $\alpha 1$ olduğunda gerçekleşmiştir. Açı $\alpha = 0{,}5^o$ olduğunda yüksekliğin artması gerilme miktarını 34,07 MPa'dan 22,86 MPa'a düşerek gerilme oraını %33 azaltmaktadır. ayrıca bu değerde gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %34,6 azalmaktadır (35 MPa'dan 22,86 MPa'a düşmüştür).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıkta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarında gerilme oranında etkisi EK-9-j'de görülmektedir. Feder parametresi h = 4,5 mm ve r = 0,8 mm'de sabit tutulmuştur.Yarıçapın artmasıyla gerilme azalmaktadır. Ancak açının artması gerilme üzerinde etkili olmamıştır. Yarıçap r_1 olduğunda açının $\alpha = 0.5^o$'den 1^o'ye artması gerilme miktarını artmaktadır ancak açı $\alpha = 1^o$'den 2^o'ye artmasıyla gerilme sabit bulunmaktadır. Feder yarıçapı r_3 olduğunda açının $\alpha = 0.5^o$'den 1^o'ye artması gerilmeni azaltmaktadır ancak açı α =1^o'den 2^o'ye artmasıyla gerilme değişmemektedir. r_4'ile r_5'te açının artması gerşlmeni az da olsa artmaktadır. En yüksek gerilme r_2 olduğunda tespit edilmiştir. bu yarıçapta açının değişimi gerilme üzerinde etkili olmamıştır. Federde α_1 ve r_2 olduğu zaman gerilme miktarı 39,78 MPa'da gerçekleimiştir. Akma dayanımını geçtiği için parçada kalıcı deformasyn oluşmaktadır. En düşük gerilme r_5 ve açı 0,5^o olduğunda bulunmaktadır. Açı α = 0,5^o olduğunda yarıçapın artması gerilme oranını yaklaşık %6 azaltmaktadır (33,39 MPa'dan 31,51 MPa'a düşmültür). Bu miktar federsiz parçaya göre gerilme oranı %10 azalmaktadır.

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yarıçapta feder 0,5; 1 ve 2^o açılarda değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi EK-9-h'te görülmektedir. feder h = 4,5 mm ve t = 1,35 mm de sabit tutulmuştur. Grafiği incelendiğinde feder kalınlığın artması parçanın gerilmesini azaldığı görülmektedir. Feder açısının artması gerilmenin değişmesinde etkili olmamıştır ancak en yüksek kalınlıkta gerçekleşen gerilme yani t_5'te açının 0,5^o'den 1^o artması gerilme miktarını 30,38 MPa'dan 39,52 MPa'a artarkrn gerilme oranını %30 artmaktadır. Bu tasarımda gerçekleşen gerilme akma dayanımını %12,9 geçmiştir. Dolasıyla parçada akma dayanımından fazla olan bölgelerde kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Açının 1 den 2 artmasıyla gerilme miktarı azalmaktadır. En düşük gerilme t_5 ve açı 0,5^o olduğında bulunmaktadır. Açı 0,5^o olduğunda kalınlığın artması gerilme oranını %12,5 azaltmaktadır (34,39 MPa'dan 30,38 MPa'a düşmüştür). Kalınlığın artması gerilme oranını Federsiz parçaya göre yaklaşık %13 azaltmaktadır.

Gerilme Üzerinde D Yüzeinden uygulanan Basıncın Etkisi ($\alpha = 0.5^o$ sabit tutulmaktadır).



Şekil 5.49. D yüzeyinde uygulanan basınçta feder parametrelerin deformasyon üzerindeki etkileşim grafikleri

Feder parametrelerinin grafkleri incelendiğinde hangi feder parametresinin gerilme miktarını ne kadar değiştirdiği tespit edilebilmektedir. Ancak feder parametrelerinin birlikte değerlendirerek hangi parametrenin gerilmeni ne kadar değiştirdiğinin belirlemek için Taguchi analizi yapılmıştır. Buna göre, feder açısı sabit olmak üzere feder yüksekliği (h), feder yarıçapı (r), feder kalınlığı (t)'nin gerilme üzerinde etkilerinin Taguchi yöntem ile analizinin sonuçları Şekil 5.48'de gösterilmiştir. D yüzeyinden uygulanan basınçta diğer yüzyelere göre nisbeten düzenli şekilde görülmektedir.

Feder yüksekliğile ilgili grafikte en yüksek gerilme h_2 ve en düşük gerilme h_5'te tespit edilmiştir. Bu aralıkta gerilme yaklaşık %37 azalmaktadır. Feder Yarıçapıyla ilgili grafikte en düşük gerilme yarıçap r_1'de ve en yüksek gerilme yarıçap r_2 olduğunda meydana gelmektedir. Bu aralıkta gerilme yaklaşık % 25 artmaktadır. Ancak r_2 den r_5'e gerilme %23 yine azalmaktadır. Feder kalınlığıyla ilgili grafikte en yüksek gerilme kalınlık t_3'te ve en düşük gerilme kalınlık t_5 olduğunda belirlenmiştir. Bu aralıkta gerilme oranı yaklaşık %17 azalmaktadır. En yüksek gerilme feder parametreleri h_2, r_2 ve t_3 olduğunda tespt edilmiştir. bu parametrede gerilme miktarı 35 MPa'dan 55,38 MPa'a artarak gerilme oranı %58,2 artmaktadır. Bu tasarımda gerilme miktarında cidi bir artış görülmektedir. Dolayısıyla plastik parçada plastik davranışlar oluşmaktadır yani kalıcı deformasyon, gerilmenin maksimum olan bölgelerinde oluşmaktadır. En düşük gerilme feder parametreleri h_5, r_1 ve t_5 olduğunda görülmektedir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 mpa ten 22,67 MPa düşerek gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %35 azalmaktadır.

EK-1- o ve p'de verilen gerilme değerlerine göre en yüksek gerilme h_1, r_1 ve t_3 olduğunda tespit edilmiştir. Bu parametrede gerilme miktarı 35 MPa'dan 56,38 MPa'a artarak gerilme oranı %61 artmaktadır. Gerilme miktarı akma dayanımıdan fazla olduğu için plastik parçada 0'ile 0,33 mm aralığında kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Bu parametrelerde tasarlanan feder parçanı olumsuz etkilemiştir Yani uygulanan basıncın nedenile pasça hasar görmektedir. Bu parametrelerde D yüzeyinden uygulanan basınçta deformasyon miktarı 3,02 mm'de tespit edilmiştir. En düşük gerilme miktarı Taguchi grafiğinde bulunduğu gerilmeden %4,5 az olduğu görülmektedir. EK-1 görüldüğü gerilme değerlere göre en düşük gerilme h_5, r_4 ve t_5 parametrelerinde oluşmuştur. Bu parametrelerde Gerilme miktarı 35 MPa'dan 21,57 MPa'a düşmüş yani gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %39 azalmaktadır. Bu parçada deformasyon miktarı 1,72 mm'de tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük gerilme arasında %100 fark bulunmaktadır.

5.2.11. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1º sabit tutulmaktadır)

EK-1- o ve p'de elde edilen gerilme değerlerine göre en yüksek gerilme feder parametreleri h = 2 mm, r = 0,001 mm ve t = 2,025 mm de belirlenmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 47,16 MPa'a artarak gerilme oranı federsiz parçaya göre %34,7 artmaktadır. gerilme miktarı plastik parçanın akma dayanımından fazla olduğu için parçada kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Buda plastik parçanın hasar görme anlanına gelmektedir. kalıcı deformasyon değeri 0'ile 0,33 mm aralığında ve maksimum deformasyon 2,94 mm'de tespit edilmiştir. Tasarlanan feder deformasyon oranı federsiz parçaya göre düşmesine rağmen parçanı olumsuz etkilediğinden dolayı kulanılmamalıdır. En düşük gerilme h = 10,125 mm, r = 0,8 mm ve t = 2,025 mm'te gerçekleşmiştir. Deformasyon oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %40 azalmaktadır (35 MPa' dan 21.69 MPa'a düşmüştür). Bu parametreleder gerilme miktarı akma dayanımından az olduğu için parçada kalıcı olmayan deformasyon oluşmaktadır. Bu parçada en büyük deformasyon 1,76 mm'de tespit edilmiştir. En yüksek ve en düşük gerilme arasında %74,7 fark bulunmaktadır.

5.2.12. D yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2º sabit tutulmaktadır)

EK-1- o ve p'de verildiği gerilme değerlere göre en yüksek gerilme feder parametreleri h = 2 mm, r = 0,2 mm ve t = 2,025 mm olduğu tasarımda tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 46,27 MPa'a artmasıyla gerilme oranı federsiz parçaya göre

%32,2 artmaktadır. Gerilme miktarı plastik parçanın akma dayanımını geçerek plastik parçada maksimum gerilme bulunduğu yerde 0,33 mm değerinde kalıcı deformasyon oluşturmaktadır. Bu tasarımda oluşan maksimum deformasyonun miktarı 2,94 mm'de görülmektedir. En düşük gerilme feder parametreleri h = 10,125, r = 0,8 mm ve t = 2,025 olduğunda tespit edilmiştir. gerilme miktarı 35 MPa'dan 21,73 MPa'a düşmüş yani gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %40 azalmaktadır. Bu parçada maksimum deformasyon 1,85 mm'de tespit edilmiştir.

Şekil 5.33, Şekil 5.39, Şekil 5.45 ve Şekil 5.51 arasında verilen resimlerde görüldüğü gibi gerilme miktarlarının federli ve federsiz plastik parçalardaki değişimleri verilmiştir. Her bir yüzeye uygulanan basınç için sadece bir tasarım için verilen bu değerler toplam 345 farklı tasarım için de gerçekleştirilmiştir (Ek-1). Gerilme analizine göre federli ve federsiz plastik parçada gerilme dağılımının benzedr olduğu ancak deformasyon oranlarının farklı olduğu belirlenmiştir. Deformasyon tipinin ve modelinin aynı olması uygulanan yükün aynı olması ve plastik ürünün ana geometrisinin aynı olmasına bağlı olduğu ancak değerlerin değişimesinin ise feder yapısna göre değiştiği düşünülmektedir.

Çizelge 5.2. Federli plastik parçada tespit edilen en büyük ve en küçük gerilme miktarları

Basıncı uyglandığı yüzey	En büyük gerilme miktarı	Değişim oranı, %	En küçük gerilme miktarı	Değişim oranı, %
A	41,99	+%20	31,49	-%10
B	41,91	+%19,7	26,3	-%25
C	42,35	+%21	28,68	-%18
D	56,38	+%61	21,57	-%39

Federli plastik parçada A yüzeyden uygulanan basınçta en düşük gerilme 31,49 MPa ve en yüksek gerilme 41,99 MPa da görülmektedir. Feder yüksekliği 6,75 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 0,6 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımda en düşük gerilme ve feder yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 0,2 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5º olduğu tasarımda en yüksek gerilmeni olduğu tespit edişmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %10 azaltmasında ve %20 artmasında görülmektedir. En düşük ve en yüksek gerilmede deformasyon miktarı sırayla 2,77 mm ve 1,93'de tespit edilmiştir. En düşük gerilmede maksimum deformasyon oranı yaklaşık %11 ve en yüksek gerilmede maksimum deformasyon oranı yaklaşık %38 azalmaktadır.

B yüzeyden uygulanan basınçta end düşük gerilme 26.3 MPa ve en yüksek gerilme 39,03 MPa da görülmektedir. Feder yüksekliği 3 mm, yarıçap değerinin 0,001 mm, plasitk parça et kalınlığının 0,6 mm ve feder açısının 0,5^o olduğu tasarımda en düşük gerilme ve feder yüksekliği 3 mm, yarıçap değerinin 0,2 mm, plasitk parça et kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının 0,5^o olduğu tasarımda en yüksek gerilmeni olduğu tespit edişmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %25 azaltmasında ve %19,7 artmasında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek gerilmede maksimum deformasyon sırayla 1,79 mm ve 1,84 mm'de bulunmaktadır. En düşük gerilmede deformasyon oranı yaklaşık %2,1 ve en yüksek gerilmede deformasyon oranı yaklaşık %0,5 artmaktadır.

C yüzeyden uygulanan basınçta en düşük ve en yüksek gerilme 28,21 MPa ve 42,35 MPa da görülmektedir. Feder yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 0,8 mm, plasitk parça et kalınlığının 2,025 mm ve feder açısının 0,5^o olduğu tasarımda en düşük gerilme ve feder yüksekliği 2 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm, plasitk parça et kalınlığının 0,9 mm ve feder açısının 1^o olduğu tasarımda en yüksek gerilmenin olduğu tespit edişmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %18 azaltmasında ve %21 artmasında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek gerilmede maksimum deformasyon 2,48 mm ve 3,13'de bulunmaktadır. En düşük gerilmede deformasyon oranı yaklaşık %23 ve en yüksek gerilmede deformasyon oranı yaklaşık %2,5 azalmaktadır.

D yüzeyden uygulanan basınçta En düşük ve gerilme 21,57 MPa ve en yüksek gerilme 56,38 MPa da görülmektedir. Feder yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 0,8 mm, plasitk parça et kalınlığının 2,025 mm ve feder açısının 0,1^o olduğu tasarımda en düşük gerilme ve feder yüksekliği 2 mm, yarıçap değerinin 0,001 mm, plasitk parça et kalınlığının 2,025 mm ve feder açısının 1^o olduğu tasarımda en yüksek gerilmenin olduğu tespit edişmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %39 azaltmasında ve %61 artmasında tespit edilmiştir. en düşük ve en yüksek gerilmede maksimum deformasyon 1,72 mm ve 3,02'de bulunmaktadır. En düşük gerilmede deformasyon oranı yaklaşık %44 ve en yüksek gerilmede deformasyon oranı yaklaşık %2 azalmaktadır.

5.3. Feder Parametrelerine Bağlı Akma Dayanımını Geçen Gerilme Oranı

Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi A, B, C ve D yüzeylerinde uygulanan basınca göre gerilme değerlei akma dayanımını aşan plastik parça tasarımlarının % miktarı verilmiştyir. Buna

göre A yüzeyinde uygulşanan basınçta h = 2 mm olan tasarımlarda toplam 72 parçanın %48'inin akma dayanımını aştığı h = 6,75 mm ise en iyi sonuç olan % 28,3'ünün akam dayanımını aştığı belirlenmiştir. Buna göre A yüzeyinden uygulanan basınç için, sadece feder yüksekliği dikkate alındığında en iyi alternatif h = 6,75 mm olarak görülmektedir. Çünkü tasarımların en fazla %28,3'ü kullanılamaz durumda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca A yüzeyinden uygulanan basınçta düşük yarıçaplarda özellikle r = 0,2 mm'te yüksek kalınlklarda maksimum gerilme federin dip köşesinde ve basınca yakın yerde oluşmaktadır. Bu bölgede basınca kalın olduğundan dolayı deformasyon miktarı maksimum deformasyon miktarına yakın olarak tespit edilmiştir. dolayısıyla en yüksek gerilme akma dayanımını geçtiği için plastik parçada yüksek miktrarda kalıcı deformasyon oluşmaktadır.

Benzer şekilde B yüzey için akma dayanımını aşan parça oranının %8 ile h = 3 mm ve h = 4,5 mm de olduğu görülmektedir. C yğüzeyinde h = 10,125 mm de toplam 61 parçanın en %1,6'sının akma dayanımını aştığı tasarım bulunuğu buna gögeore h = 10,125 mm feder yüksekliği ile yapılan tasarımlarda plastik parçaların %98,4'ünün kullanılabileceği tespit edilmiştir. Son olarak D yüzeyinden uygulanan basınçta ise, h = 1,0125 mm olduğunda 61 parçanın tamamının gerilme miktarının akma dayanımı olan 35 MPa'dan daha küçük gerilme değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Buna göre, h = 10,125 mm'nin en uygun tasarım olduğu daha sonra ise h = 6,75 mm ile yapılan tasarımın (%97'si kullanılabilir) kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.3. Yüksekliğe bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı

	Feder yüksekliği h = 2 mm (72 parça)	Feder yüksekliği h = 3 mm (72 parça)	Feder yüksekliği h = 4,5 mm (72 parça)	Feder yüksekliği h = 6,75 mm (67 parça)	Feder yüksekliği h = 10,125 mm (61 parça)
A yüzeyinden uygulanan basınç	%48	%41	%38,8	%28,3	%37
B yüzeyinden uygulanan basınç	%11	%8	%8	%16,4	%21
C yüzeyinden uygulanan basınç	%5,5	%4,1	%6,9	%5,9	%1,6
D yüzeyinden uygulanan basınç	%36,1	%41,6	%25	%3	%0

Çizelge 5.4'de görüldüğü gibii A, B, C ve D yüzeylerinde uygulanan basınca göre federin farklı yarıçaplarında gerilme değerlei akma dayanımını aşan plastik parça tasarımlarının yüzde oranları verilmiştir. A yüzeyinden uygulanan basınçta feder yarıçapını dikkate alarak

optimum yarıçapın r = 1,6 mm olduğunda tespit edilmiştir. Yarıçapın değeri 1,6 mm olduğunda tasarlanan parçaların sadece %24'ü akma dayanımını geçmektedir. Ancak r = 1,6 mm olduğunda geometrik nedenlerden dolayı sadece 57 parça üretilebilmektedir. En kiritik yarıçap r = 0,2 mm oldugunda belirlenmiştir. Bu yarıçapta üretilen 72 parçanın % 60 akma dayanımını geçtiği ve kullanılmaz durumda olduğu tespit edimiştir. Dolayısıyla 72 parçanın %40'ı olan 29 tasarımın kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Bu da tasarımda büyük emek kaybına sebep olacağı anlamına gelmektedir.

B yüzeyinden uygulanan basınçta en az firenin oluştuğu yarıçap olan r = 0,8 mm ile yapılan tasarımında 72 parçanın sadece %8,3'ü akma dayanımını geçmektedir. Dolayısıyla yapılan 72 tasarımın %91,7'si kullanılabilecek tasarım olarak görülmektedir. Benzer şekilde C yüzeyinden uygulanan basınçta akma dayanımını geçen tasarımların yüzde oranları oldukça düşük olup tasarımların yaklaşık %95 'i kullanılabilecek tasarımlar olduğu anlaşılmaktadır.

D yüzeyinden uygulanan basınçta en kritik değer feder yarıçapı r = 0,2 mm olduğunda belirlenmiştir. Bu değerde tasarlanan parçaların %63'ü akma dayanımını geçmektedir. Ancak r = 1,6 mm olduğu zaman tüm tasarlanan parçalarda oluşulan maksimum gerilme akma dayanımın altında kalmışlardır.

Çizelge 5.4. Yarıçapa bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı

	Feder yarıçapı r = 0,001 mm (72 parça)	Feder yarıçapı r = 0,2 mm (72 parça)	Feder yarıçapı r = 0,4 mm (72 parça)	Feder yarıçapı r = 0,8 mm (72 parça)	Feder yarıçapı r = 1,6 mm (57 parça)
A yüzeyinden uygulanan basınç	%33,3	%60	%41,6	%30,5	%24
B yüzeyinden uygulanan basınç	%15,2	%20,8	%9,7	%8,3	%8,7
C yüzeyinden uygulanan basınç	%5,5	%5,5	%5,5	%4,1	%3,5
Dyüzeyinden uygulanan basınç	%19,4	%63,8	%19,4	%2,7	%0

Çizelge 5.5'de görüldüğü gibii A, B, C ve D yüzeylerinde uygulanan basınca göre federin farklı kalınlıklarına göre gerilme değerleri akma dayanımını aşan plastik parça oranlarının değişimleri verilmiştir. A yüzeyinde uygulanan basınç için en uygun kalınlığın t = 2,025 mm, B yüzeyi için en uygun kalınlığın t = 0,4 mm, C yüzeyi için en uygun kalınlığın t =2,025 mm ve D yüzeyi için ise en uygun tasarımın t = 0,6 mm olduğu belirlenmiştir. Bu tasrımlarda akma dayanımını geçen egrilem oranları en düşük seviyededir.

Çizelge 5.5. Kalınlığa bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı

	Feder kalınlığı t = 0,4 mm (65 parça)	Feder kalınlığı t = 0,6 mm (70 parça)	Feder kalınlığı t = 0,9 mm (75 parça)	Feder kalınlığı t = 1,35 mm (75parça)	Feder kalınlığı t = 2,025 mm (60 parça)
A yüzeyinden uygulanan basınç	%60	%40	%49	%25,3	%20
B yüzeyinden uygulanan basınç	%7,4	%18,5	%12	%10,6	%15
C yüzeyinden uygulanan basınç	%7,6	%18,5	%12	%10,6	%15
D yüzeyinden uygulanan basınç	%21,5	%17,1	%17,3	%25,3	%30

Çizelge 5.6'de görüldüğü gibi A, B, C ve D yüzeylerinde uygulanan basınca göre federin farklı açılarında gerilme değerleri ile akma dayanımı arasındaki ilişki yüzde cinsinden verilmiştir. Bu Çizelgeya göre, gerilme değerinin akma dayanımını aştığı tasarımların yüzde oranları incelendiğinde A ve C yüzeyleri için en uygun tasarımın $\alpha = 0{,}5^{\circ}$ olarak seçilen tasarımda olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde B yüzeyi için en uygun tasarımın $\alpha = 2^{\circ}$ ve D yüzeyi için ise $\alpha = 1^{\circ}$ olarak seçilen tasarımlar olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6. Açıya bağlı akma dayanımını geçen gerilme oranı

	Feder açısı $\alpha = 0{,}5^{\circ}$ (120 parça)	Feder açısı $\alpha = 1^{\circ}$ (120 parça)	Feder açısı $\alpha = 2^{\circ}$ (105 parça)
A yüzeyinden uygulanan basınç	%35	%40,8	%41,9
B yüzeyinden uygulanan basınç	%15,8	%12,5	%9,5
C yüzeyinden uygulanan basınç	%2,5	%6,6	%5
D yüzeyinden uygulanan basınç	%20,8	%20	%22,5

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, temel olarak feder parametrelerin A, B, C, ve D yüzeylerinden uygulanan basınca bağlı olarak plastik parçadaki deformasyon ve gerilme üzerinde etkisi belirlenmiştir. Feder parametreleri 5 farklı yükseklikte, 5 farklı yarıçap, 5 farklı kalınlık ve 3 farklı açıda toplam 345 farklı geometrede tasarlanmıştır. Plastik parça üzerinde federin mukavemet üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için uygulanacak basınç/kuvvet değeri plastik parça malzemesinin akma mukavemeti olan 35 MPa belirlenmiştir.

Plastik parça, federin yüksekliği, kalınlığı, açısı ve feder diplerindeki yuvarlatma yarıçapı olamk üzere toplam 4 farklı feder parametrelerine bağlı olarak 345 alternatif tasarım gerçekleştirilmiştir. Ansys ortamında yapılan analizlere göre plastik parçanın deformasyonu ve oluşan en büyük gerilmeler dikkate alındığında en etkin parametrenin feder yüksekliği olduğu belirlenmiştir. Özellikle plasitk parçada oluşan deformasyon dikkate alındığında en etkjin ikinci parametrenin feder kalınlığı olduğu daha sonra yuıvarlatm ayarıçapı ve en sonda ise feder açısının etkin olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizlere göre feder açısı arttıkça plastik parçanın deformasyon miktarında az da olsa artış gerçekleştiği belirlenmiştir. Ancak genel olarak deformasyon miktarları plastik parçanın malzemesi olan polipropilenin yüzde uzama miktarından düşük seviyede kaldığı görülmektedir.

Plastik parçada oluşan gerilme değerleri bazı dar bölgede akma dayanımından büyük olduğu ve kalıcı deformasyona sebep olduğu belirlenmiştir. Bu bölgeler genelikle plastik parçanın analizi için tanımlanmış olan ankastre yüzeylerine yakın bölgelerde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Feder genel olarak plastik parçanın mukavemetini artırmıştır. Ancak yapılan 345 farklı tasarımda federli plastik parçaların A, B, C ve D yüzeyinden uygulanan basınçlara bağlı olarak sırasıyla parçaların %0,3; %27; %0,3 ve %57'si kadarının federsiz plastik parçaya göre daha fazla deformasyona uğradığı belirlenmniştir. Benzer şekilde plastik parçaların A, B, C ve D yüzeyinden uygulana basınca bağlı olarak sırasıyla parçaların %39; %12; %4,9 ve %22'sinin gerilme değerinin akma dayanımından yüksek olduğu ve kalıcı deformasyona uğradığı belirlenmiştir.

Kalıcı deformasyonun miktarı sıfıra yakın olmasına rağmen plastik deformasyonun oluştuğu için parçanın en kiritik bölgesi olarak belirlenmektedir. Basıncın artmasıyla maksimum gerilme oluşan yerlede kalıcı deformasyonun miktarı artmaktadır. Dolayısıyla bu yerlerden yüksek basınçlarda parçada ciddi hasar gerçekleşebilmektedir.

A, B ve C yüzeyinden uygulanan basınçta feder parametrelerinin gerilme üzerindeki etkileri incelendiğinde feder parametreleri ile gerilme arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Ancak D yüzeyinden uygulanan basınçta feder yüksekliği ile feder kalınlığının artması gerilme oranını azaltmıştır. Feder yarıçapının diğer parametrelere oranla cidi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bunun yanında, feder açısı feder yüksekliğinin artmasına bağlı olarak etkin olduğu tespit edilmiştir.

Birçok tasarımda feder yüksekliği belirli değerin üzerinde beklendiği gibi fayda sağlamadığı ve mukavemete olan etkisinin sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Buna göre, plastik parçada oluşan deformasyon oranı dikkate alındığında, plastik parçanın üzerinde feder yüksekliği artışı gereksiz maliyet artışına sebep olduğu ve plastik parçanin et kalınlığının 3- 4 katından daha büyük yapılması önerilmemektedir. Ancak bazı parçalarda feder yüksekliğin ve feder kalınlığının en büyük değerlerinde daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Yani yükseklik parçanın et kalınlığının 5 katı ve kalınlık parçanın et kalınlığıyla eşit olduğunda daha düşük gerilme ve deformasyon gerçekleşmiştir. Ancak feder kalınlığının plastik parça et kalınlığının %60'ından büyük olması kalıpçılık tekniği açısından soğuma ve katılaşma fazlarında özdeş olmayan ısı ve basınç dağılımına sebebiyet vereceğinden dolayı çarpılma ve çökmeye miktarını artıracaktır. Bu nedenle feder kalınlığı plastik parça et kalınlığının yaklaşık %60'ında daha büyük değerlerdeki feder kalınlıkları düşük gerilme değerine sahip olsa bile kalıpçılık tekniği açısından beraberinde bir çok zorluğu getirecektir. Herşeye rağmen tasarımcı feder kalınlığı ve feder yüksekliği önerilen değerden daha büyük yapması gerektiği durumlarda kalıbın soğutma sistemi iyileştirilerek sorun giderilmeye çalışılabilir. Ancak bu işlemler maliyet artışına sebebiyet vermektedir.

KAYNAKLAR

1. Batwara, A., and Sharma, P. (2016). An Experimental Study of Parameters on Plastic Product using Mold Flow Simulation-ANOVA Based Analysis. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 3(1), 5-11.

2. Arulanandan, A. K. and Ramesha, N. (2015). Moldflow and Structure Analysis of İnjection Mould Tool For Hooter Body Cover Component. *İnternational Jornal of researching in Engineering and technology*, 229-233.

3. Su, Y. C., Shah, J. and Lin, L. (2003). Implementation and Analysis Of Polymeric Microstructure Replication By Micro Injection Molding. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 14(3), 415.

4. Demirer, A. (1997). *Enjeksiyon Yöntemiyle Şekillendirilecek Plastik Mamüllerin Tasarım Kuralları*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya, 52.

5. Yıldırım, C. S., ve Demirer, A. (1997). *Plastik Ürün Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimler: Enistitüsü, İstanbul, 46-49.

6. Turaçlı, H. (2000). *Enjeksiyon Kalıpları İmalatı*. Türkiye: Pagev Yayınları, 51-63.

7. Akyüz, Ö. F. (1999). *Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*. Türkiye: Pagyay Yayınları, 42-49.

8. Campo, E. (2006). *The Complete Part Design Handbook For Injection Molding of Thermoplastics*, Germani: Carl Hanser Verlag GmbH and Co. KG, 287-290.

9. Malloy, R. A. (1994). *Plastic Part Design For Injection Molding*. New York: Hanser Publishers, 47-85.

10. Kulich, D. M., Gaggar, S. K., Lowry, V. and Stepien, R. (2002). *Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Polymers.* New York: John Wiley and Sons, 89, 92.

11. Beall, G. and Throne, J. (2004). *Hollow Plastic Parts Design and Manufacture*.USA: HanserPublications, 126-140.

12. Erdem, Y.M.S. ve Arıoğlu, N. (1992). *Çatı Kaplama Malzemesi Olarak Polimer Levha Seçimi*.Türkiye: TMMOB Yayınları.

13. Makine Teknlojisi Temel Plastik Enjeksiyon Kalıpları (2006*). Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemin Güçlendirilmesi Projesi*, Ankara.

14. Aydın, H. (2004). *PVC Üretimi ve Katkı Maddeleri.*Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 12, 26.

15. Mead, L.J. and Baker, A. M. (2006). *Handbook of Plastiks Technologie*, USA: The McGraw Hill Companies.

16. Köse, E. (2006). *Plastik Enjeksiyonda Proses ve Kalıp Kaynaklı Sorunların Giderilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.

17. Güler, M. S. and Sadri, Ş. E. N. (2015). Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkinda Genel Bilgiler. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1).

18. Liu, G. R. and Quek, S. S. (2003). *The finite element method*. *A practical approach.* Uk: Oxford, 1-11.

19. Fish, J. and Belytschko, T. (2007). *A first course in finite elements*. England: John Wiley and Sons, Chichester, 1-9.

20. Camanho, P. P. and Matthews, F. L. (1997). Stress analysis and strength prediction of mechanically fastened joints in FRP. *Applied Science and Manufacturing*, 28(6), 529-547.

21. Ekmekçi, F. G., Kirankaya, Ş. G., Gençoğlu, l. and Yoğurtçuoğlu, B. (2013). *Türkiye Içsula- Rindaki Istilaci Baliklarin Güncel Durumu Ve Istilanin Etkilerinin Değerlendirilmesi.*Türkiye*:* Meriç Albay, 28, 105-140.

22. Balaban, H. (2006). *Beyaz Eşya Sektöründe Uygulanan Düşürme Testlerinin Bilgisayarda Simulasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 26-38.

23. Brenner, S. and Scott, R. (2007). The Mathematical Theory of Finite Element methods. *Springer Science and Business Media*, 138-142.

24. Mead, L. J. and Baker, A. M. (2006). *Handbook of Plastics Technologies*. USA: The McGraw Hill Companies.

25. Yaşar, H., (2001). *Plastikler Dünyası.Türkiye*: MMO Yayınları, 11-16.

26. Reddy, B. S., Kumar, J. S., Reddy, V. K. and Padmanabhan, G. (2009). Application of Soft Computing For The Prediction Of Warpage Of Plastic Injection Molded Parts. *Journal of Mechanical Engineering Science Technologies*, 2(1), 56-62.

27. Erzurumlu, T. ve Özcelik, B. (2006). Minimization of Warpage And Sink Index In Injection-Molded Thermoplastic Parts Using Taguchi Optimization Method. *Materials and Design,* 27(10), 853-861.

28. Çoban, Y. (2013). *Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Bilgisayar Destekli Malzeme Akış Analizleri Ve Kavite Optimizasyon*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enistitüsü, Sakarya.

29. Yakut, M. Z. (2014). Plastik Enjeksiyon Kaliplama Ile Bir Bardağin Dolum Analizi. *SDU International Journal of Technological Science*, 6(1), 164-170.

30. Deng, Y.M., Zhang, Y. and Lam, Y.C. (2010). A hybrid Of Mode-Pursuing Sampling Method And Genetic Algorithm For Minimization Of Injection Molding Warpage. *Materials and Design*, 31(4), 2118-2123.

31. Courbebaisse, G. (2005). Numerical Simulation Of Injection Moulding Process and The Pre-Modelling Concept. *Computational Materials Science*, 34(4), 397-405.

32. Ozcelik, B. and Sonat, I. (2009). Warpage and Structural Analysis Of Thin Shell Plastic In The Plastic Injection Molding. *Materials and Design*, 30(2), 367-375.

33. Lam, Y. C. and Santhikumar, S. (2003). Automated Rib Location And Optimization For Plate Structures. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 25(1), 35-45.

34. James, P., Krishna, D. M., Kotresh, G. and Varughese, B. (2009). Finite Element Analysis of Inter Spare Ribs of Composite Wing of Light Transport Aircraft Against Brazier Load. *In National Conference on Scientific Achievements of SC and ST Scientists and Technologists*, 17.

35. Mathivanan, D., Nouby, M. and Vidhya, R. (2010). Minimization of Sink Mark Defects In Injection Molding Process, Taguchi Approach. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(2), 13-22.

36. Yang, S. Y., Lin, C.T. and Chang, J. H. (2003). Secondary Gas Penetrations In Ribs During Full- Shot Gas- Assisted Injection Molding. *Advances in Polymer Technology*, 22(3), 225-237.

37. Manaf, A. R. A., Zawawi, M. Z. and Adly, N. Z. I. (2014). Thin Walled Part Warping Overcoming by Honeycomb Ribs Design. *In Advanced Materials Research*. 181-186.

38. Shinohara, K., Mizoguchi, M., Suzuki, S. and Narusawa, Y. (2016). Diamond Rib: A Mechanical Design Method for Improving the Stiffness of Structure. *Engineering*, 8(06), 308.

39. Guo, W., Hua, L. and Mao, H. (2014). Minimization of Sink Mark Depth In Injection-Molded Thermoplastic Through Design of Experiments and Genetic Algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 365-375.

40. Chung, J. and Lee, K. (1997). Optimal Design of Rib Structures Using the Topology Optimization Technique. Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 211(6), 425-437.

41. Chen, C. C., Lu, C. A. and Lin, C. C. (2005). Parametric Study and Design of Rib-Reinforced Steel Moment Connections. *Engineering Structures*, 27(5), 699-708.

42. Ghasemi, M. A., Yazdani, M. and Soltan, A. E. (2015). Buckling Behavior Investigation Of Grid Stiffened Composite Conical Shells Under Axial Loading. *Modares Mechanical Engineering*, 170-176.

43. Salimi, H. Noorabadi, M. and Eskandari, J. (2016). Vibration Analysis of Composite Cylindrical Shell Reinforced with Circumferential Rib. *Journal of Mechanical Engineering*, 167-172.

44. Rostami, L. S., Akbari, A. R. and Kolahdouz, A. (2015). Effect of Geometrical Parameters of Cylindrical Composite Grid Structures İn Behavior Buckling. *Journal of Mechanical Engineering,* 197-207.

45. Lan, T., Chiu, M.C. and Yeh, L. J. (2008). An Approach to Rib Design of Injection Molded Product Using Finite Element and Taguchi Method. *Applied Science and Manufacturing*, 87-94.

46. Sperling, L. H., (2006). *Introdaction to physical Polimer Science*, USA: WILEY, 365- 369.

EKLER

Ek- 1. Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

A Yüzeyinden Uygulanan Basınçnden Uygulanan Basınç'ta En Yüksek Deformasyona Bağlı Olan Federlerin Parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	2	0,001	0,4	0,5	36,033	3,07
2	2	0,2	0,4	0,5	34,994	3,07
3	2	0,001	0,4	1	35,741	3,07
4	2	0,2	0,4	1	35,802	3,07
5	2	0,4	0,4	1	35,526	3,07
6	2	0,2	0,4	2	34,998	3,07
7	2	0,4	0,4	2	35,046	3,07
8	2	0,8	0,4	2	34,032	3,07
9	2	0,4	0,4	0,5	34,987	3,06
10	2	0,8	0,4	0,5	35,119	3,06
11	2	0,8	0,4	1	35,517	3,06
12	3	1,6	1,35	2	33,324	3,06
13	2	0,001	0,6	0,5	35,883	3,05
14	2	0,2	0,6	0,5	34,807	3,05
15	2	0,4	0,6	0,5	35,052	3,05
16	2	0,001	0,6	1	35,58	3,05
17	2	0,2	0,6	1	33,943	3,05
18	2	0,4	0,6	1	34,337	3,05
19	2	0,8	0,6	1	34,906	3,05
20	2	0,001	0,4	2	35,585	3,05
21	3	0,001	0,4	2	34,933	3,05
22	3	0,2	0,4	2	35,52	3,05
23	2	1,6	0,4	2	34,589	3,05
24	2	0,001	0,6	2	36,017	3,05
25	3	0,4	0,4	2	35,56	3,04

a)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

A yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan Basınç'ta en düşük deformasyona bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	10,125	0,8	2,025	0,5	31,81	1,75
2	10,125	0,001	2,025	0,5	32,701	1,76
3	10,125	0,2	2,025	0,5	39,97	1,76
4	10,125	0,4	2,025	0,5	33,322	1,76
5	10,125	0,8	2,025	1	33,227	1,77
6	10,125	0,001	2,025	1	33,304	1,78
7	10,125	0,2	2,025	1	40,698	1,78
8	10,125	0,4	2,025	1	33,438	1,78
9	10,125	0,8	2,025	2	33,565	1,81
10	10,125	0,4	2,025	2	32,909	1,82
11	10,125	0,001	2,025	2	33,569	1,83
12	10,125	0,2	2,025	2	39,83	1,83
13	10,125	1,6	1,35	0,5	33,35	1,89
14	10,125	0,8	1,35	0,5	32,781	1,91
15	10,125	0,4	1,35	0,5	32,23	1,92
16	10,125	1,6	1,35	1	33,308	1,92
17	10,125	0,001	1,35	0,5	34,042	1,93
18	10,125	0,2	1,35	0,5	41,998	1,93
19	10,125	0,8	1,35	1	34,201	1,95
20	10,125	0,001	1,35	1	33,857	1,96
21	10,125	0,2	1,35	1	40,547	1,96
22	10,125	0,4	1,35	1	34,485	1,96
23	10,125	1,6	1,35	2	33,866	2,01
24	10,125	0,4	1,35	2	32,967	2,04
25	10,125	0,8	1,35	2	33,879	2,04

b)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

B yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan Basınç'ta en yüksek deformasyona bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	10,125	0,001	0,4	0,5	30,683	1,87
2	10,125	0,2	0,4	0,5	33,354	1,87
3	10,125	0,4	0,4	0,5	33,682	1,87
4	10,125	0,001	0,6	0,5	31,738	1,87
5	10,125	0,2	0,6	0,5	36,34	1,87
6	10,125	0,4	0,6	0,5	32,306	1,87
7	10,125	0,001	0,6	1	34,131	1,87
8	10,125	0,2	0,6	1	32,75	1,87
9	10,125	0,4	0,6	1	30,597	1,87
10	10,125	0,8	0,4	0,5	29,585	1,86
11	6,75	0,001	0,6	0,5	35,083	1,86
12	6,75	0,2	0,6	0,5	35,61	1,86
13	10,125	0,8	0,6	0,5	32,612	1,86
14	6,75	0,001	0,9	0,5	35,095	1,86
15	10,125	0,001	0,9	0,5	33,445	1,86
16	6,75	0,2	0,9	0,5	31,278	1,86
17	10,125	0,2	0,9	0,5	35,416	1,86
18	10,125	0,4	0,9	0,5	33,105	1,86
19	10,125	0,001	0,4	1	29,884	1,86
20	10,125	0,2	0,4	1	32,156	1,86
21	10,125	0,4	0,4	1	38,25	1,86
22	10,125	0,8	0,6	1	29,481	1,86
23	6,75	0,001	0,9	1	33,01	1,86
24	10,125	0,001	0,9	2	36,76	1,86
25	6,75	0,001	0,4	0,5	33,779	1,85

c)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

B yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en düşük deformasyona bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	10,125	0,8	2,025	0,5	30,549	1,72
2	10,125	0,4	2,025	0,5	31,244	1,73
3	10,125	0,8	2,025	1	32,66	1,73
4	10,125	0,001	2,025	0,5	34,841	1,74
5	10,125	0,2	2,025	0,5	32,331	1,74
6	10,125	0,4	2,025	1	36,553	1,74
7	10,125	0,2	2,025	1	36,159	1,75
8	10,125	0,8	2,025	2	31,078	1,75
9	10,125	0,2	2,025	2	31,287	1,76
10	10,125	0,4	2,025	2	32,254	1,76
11	2	1,6	1,35	0,5	33,573	1,77
12	3	1,6	1,35	0,5	31,414	1,77
13	10,125	1,6	1,35	0,5	31,91	1,77
14	3	0,8	2,025	0,5	32,527	1,77
15	4,5	0,8	2,025	0,5	35,03	1,77
16	6,75	0,8	2,025	0,5	31,176	1,77
17	2	1,6	1,35	1	32,38	1,77
18	3	1,6	1,35	1	34,511	1,77
19	2	0,8	2,025	1	34,468	1,77
20	3	0,8	2,025	1	33,145	1,77
21	4,5	0,8	2,025	1	33,325	1,77
22	6,75	0,8	2,025	1	29,055	1,77
23	2	1,6	1,35	2	31,431	1,77
24	3	1,6	1,35	2	33,535	1,77
25	2	0,001	2,025	2	31,431	1,77

d)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

C yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan Basınç'ta en yüksek deformasyona bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	2	0,001	0,4	0,5	34,074	3,2
2	2	0,2	0,4	0,5	34,208	3,2
3	2	0,001	0,4	1	34,451	3,2
4	2	0,2	0,4	1	34,348	3,2
5	2	0,001	0,4	2	34,341	3,2
6	2	0,2	0,4	2	34,133	3,2
7	2	0,4	0,4	2	34,161	3,2
8	2	0,4	0,4	0,5	34,373	3,198
9	2	0,2	0,6	1	33,578	3,194
10	2	0,4	0,6	1	35,027	3,192
11	2	0,8	0,4	0,5	34,144	3,19
12	2	0,001	0,6	0,5	34,053	3,19
13	2	0,2	0,6	0,5	33,561	3,19
14	2	0,4	0,6	0,5	34,159	3,19
15	3	0,001	0,4	1	34,182	3,19
16	2	0,8	0,4	1	34,218	3,19
17	2	0,001	0,6	1	34,17	3,19
18	3	0,001	0,4	2	33,719	3,19
19	3	0,2	0,4	2	34,285	3,19
20	3	0,4	0,4	2	34,404	3,19
21	2	0,8	0,4	2	34,355	3,19
22	2	0,001	0,6	2	33,807	3,19
23	2	0,2	0,6	2	34,092	3,19
24	2	0,4	0,6	2	34,414	3,19
25	2	0,8	0,6	0,5	34,083	3,18

e)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

C yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en düşük deformasyona bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	10,125	0,8	2,025	0,5	28,68	2,48
2	10,125	0,4	2,025	0,5	31,361	2,49
3	10,125	0,2	1,35	1	33,854	2,49
4	10,125	0,001	2,025	0,5	31,971	2,5
5	10,125	0,2	2,025	0,5	31,547	2,5
6	10,125	0,8	2,025	1	31,431	2,5
7	10,125	0,4	2,025	1	31,995	2,51
8	10,125	0,2	2,025	1	33,578	2,52
9	10,125	0,8	2,025	2	31,514	2,54
10	10,125	0,4	2,025	2	31,619	2,55
11	10,125	0,001	2,025	2	31,599	2,56
12	10,125	0,2	2,025	2	31,789	2,56
13	10,125	0,2	0,9	2	35,465	2,58
14	10,125	1,6	1,35	0,5	31,54	2,6
15	10,125	1,6	1,35	1	31,803	2,62
16	10,125	0,8	1,35	0,5	32,042	2,64
17	10,125	0,4	1,35	0,5	32,892	2,65
18	10,125	0,001	1,35	0,5	32,532	2,66
19	10,125	0,2	1,35	0,5	33,156	2,66
20	10,125	0,8	1,35	1	33,55	2,66
21	10,125	0,001	1,35	1	32,398	2,68
22	10,125	0,4	1,35	1	32,552	2,68
23	10,125	1,6	1,35	2	32,054	2,68
24	6,75	0,8	2,025	0,5	31,39	2,69
25	10,125	0,8	0,9	0,5	32,993	2,7

f)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

D yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan Basınç'ta en yüksek deformasyona bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	3	0,001	0,4	0,5	35,863	3,17
2	2	0,001	0,4	2	35,702	3,07
3	2	0,001	0,4	0,5	34,545	3,06
4	2	0,2	0,4	0,5	36,594	3,06
5	2	0,4	0,4	0,5	34,954	3,06
6	2	0,001	0,4	1	35,012	3,06
7	2	0,2	0,4	1	35,769	3,06
8	2	0,4	0,4	1	34,776	3,06
9	2	0,2	0,4	2	34,802	3,06
10	2	0,4	0,4	2	35,109	3,06
11	2	0,8	0,4	0,5	34,907	3,05
12	2	0,001	0,6	0,5	34,364	3,05
13	2	0,8	0,4	1	34,647	3,05
14	2	0,001	0,6	1	34,93	3,05
15	2	0,2	0,6	1	37,904	3,05
16	3	0,001	0,4	2	34,531	3,05
17	3	0,2	0,4	2	36,514	3,05
18	2	0,8	0,4	2	35,171	3,05
19	2	0,001	0,6	2	34,372	3,05
20	2	0,2	0,6	2	39,005	3,05
21	2	0,4	0,6	2	34,721	3,05
22	3	0,2	0,4	1	37,751	3,042
23	2	0,2	0,6	0,5	38,185	3,04
24	2	0,4	0,6	0,5	34,489	3,04
25	3	0,001	0,4	1	34,716	3,04

g)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

D yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en düşük deformasyona bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Gerilme, MPa	Deformasyon, mm
1	10,125	0,8	2,025	0,5	21,577	1,72
2	10,125	0,001	2,025	0,5	22,687	1,73
3	10,125	0,2	2,025	0,5	28,24	1,73
4	10,125	0,4	2,025	0,5	23,648	1,73
5	10,125	0,8	2,025	1	21,698	1,76
6	10,125	0,001	2,025	1	22,77	1,77
7	10,125	0,2	2,025	1	28,097	1,77
8	10,125	0,4	2,025	1	22,31	1,77
9	10,125	0,001	2,025	2	21,84	1,85
10	10,125	0,2	2,025	2	23,301	1,85
11	10,125	0,4	2,025	2	21,75	1,85
12	10,125	0,8	2,025	2	21,735	1,85
13	10,125	1,6	1,35	0,5	22,69	1,96
14	10,125	0,4	1,35	0,5	22,91	1,98
15	10,125	0,8	1,35	0,5	22,864	1,98
16	10,125	0,001	1,35	0,5	22,63	1,99
17	10,125	0,2	1,35	0,5	22,845	1,99
18	10,125	0,001	1,35	1	23,504	2,04
19	10,125	0,2	1,35	1	23,635	2,04
20	10,125	0,4	1,35	1	23,407	2,04
21	10,125	0,8	1,35	1	23,291	2,04
22	10,125	1,6	0,9	0,5	25,449	2,1
23	10,125	1,6	1,35	2	24,725	2,15
24	10,125	0,8	1,35	2	24,659	2,17
25	10,125	0,001	1,35	2	24,88	2,18

h)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

A yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en yüksek gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	10,125	0,2	1,35	0,5	1,93	41,998
2	10,125	0,2	2,025	1	1,78	40,698
3	10,125	0,2	1,35	1	1,96	40,547
4	6,75	0,2	1,35	0,5	2,28	40,452
5	10,125	0,2	2,025	0,5	1,76	39,97
6	10,125	0,2	2,025	2	1,83	39,83
7	10,125	0,2	0,9	0,5	2,1	39,792
8	6,75	0,2	2,025	2	2,15	39,701
9	6,75	0,2	2,025	1	2,12	39,087
10	10,125	0,2	1,35	2	2,05	39,026
11	10,125	0,2	0,9	1	2,16	38,869
12	6,75	0,2	1,35	1	2,31	38,29
13	6,75	0,2	2,025	0,5	2,1	38,246
14	10,125	0,2	0,9	2	2,34	37,927
15	4,5	0,2	2,025	0,5	2,49	37,823
16	6,75	0,2	0,9	0,5	2,46	37,556
17	4,5	0,2	2,025	1	2,5	37,257
18	6,75	0,2	0,9	1	2,5	36,566
19	4,5	0,2	1,35	0,5	2,64	36,123
20	2	0,001	0,4	0,5	3,07	36,033
21	2	0,001	0,6	2	3,05	36,017
22	3	0,4	0,4	1	3,03	36,007
23	6,75	0,2	1,35	2	2,37	35,922
24	2	0,001	0,6	0,5	3,05	35,883
25	3	0,2	0,6	0,5	2,99	35,874

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

A yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en düşük gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	6,75	1,6	0,6	1	2,77	31,49
2	10,125	0,8	2,025	0,5	1,75	31,81
3	6,75	0,001	2,025	1	2,12	32,082
4	10,125	0,4	1,35	0,5	1,92	32,23
5	10,125	0,001	1,35	2	2,05	32,681
6	10,125	0,001	2,025	0,5	1,76	32,701
7	6,75	0,8	2,025	2	2,14	32,737
8	10,125	0,8	1,35	0,5	1,91	32,781
9	10,125	0,4	2,025	2	1,82	32,909
10	10,125	0,4	1,35	2	2,04	32,967
11	10,125	0,4	0,9	0,5	2,1	33,051
12	3	0,8	1,35	0,5	2,48	33,051
13	4,5	0,8	2,025	0,5	2,48	33,051
14	4,5	1,6	1,35	1	2,63	33,07
15	6,75	0,8	0,9	0,5	2,45	33,089
16	6,75	0,8	0,6	2	2,79	33,098
17	6,75	0,2	0,9	2	3	33,192
18	2	0,8	2,025	0,5	2,93	33,21
19	10,125	0,8	2,025	1	1,77	33,227
20	6,75	0,001	1,35	2	2,37	33,238
21	6,75	0,8	0,6	0,5	2,61	33,251
22	10,125	1,6	0,9	2	2,31	33,285
23	10,125	0,8	0,9	0,5	2,09	33,293
24	10,125	0,001	2,025	1	1,78	33,304
25	2	0,2	2,025	0,5	2,94	33,305

j)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

B yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en yüksek gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

En Yüksek Gerilme						
Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	4,5	0,001	0,9	2	1,84	41,91
2	3	0,2	1,35	0,5	1,82	39,039
3	10,125	0,2	0,9	1	1,86	38,628
4	10,125	0,4	0,4	1	1,86	38,25
5	2	0,4	0,6	1	1,83	37,66
6	2	0,4	0,6	0,5	1,83	37,532
7	10,125	1,6	0,9	0,5	1,82	37,405
8	10,125	0,001	1,35	0,5	1,82	37,304
9	2	0,001	1,35	1	1,82	37,041
10	4,5	0,4	0,6	1	1,84	37,034
11	2	0,2	0,4	2	1,83	36,831
12	10,125	0,2	0,9	2	1,86	36,767
13	10,125	0,4	2,025	1	1,74	36,553
14	4,5	0,001	0,9	0,5	1,84	36,375
15	10,125	0,2	0,6	0,5	1,87	36,34
16	3	0,8	0,9	0,5	1,82	36,266
17	3	0,001	2,025	0,5	1,79	36,164
18	10,125	0,2	2,025	1	1,75	36,159
19	2	0,001	0,4	1	1,83	35,931
20	6,75	0,2	0,4	1	1,85	35,903
21	10,125	1,6	1,35	2	1,79	35,887
22	2	0,8	0,6	2	1,82	35,749
23	4,5	1,6	0,6	2	1,81	35,733
24	4,5	1,6	0,6	0,5	1,81	35,655
25	6,75	0,2	2,025	0,5	1,78	35,626

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

B yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en düşük gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

En Düşük Gerilme						
Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	2	0,001	2,025	1	1,79	26,3
2	10,125	1,6	0,6	1	1,83	28,195
3	4,5	0,4	2,025	2	1,79	28,217
4	4,5	0,2	2,025	1	1,79	28,285
5	4,5	0,001	0,6	1	1,84	28,462
6	3	0,001	0,4	2	1,83	28,696
7	10,125	0,8	0,4	1	1,85	28,909
8	10,125	1,6	0,9	1	1,82	29,054
9	6,75	0,8	2,025	1	1,77	29,055
10	2	0,2	2,025	1	1,79	29,122
11	6,75	0,2	2,025	2	1,79	29,239
12	2	1,6	0,4	1	1,8	29,324
13	4,5	0,8	0,9	0,5	1,83	29,35
14	10,125	0,001	2,025	2	1,77	29,425
15	10,125	0,8	0,6	1	1,86	29,481
16	2	0,8	1,35	0,5	1,8	29,519
17	2	0,4	2,025	2	1,79	29,534
18	4,5	0,4	1,35	1	1,82	29,547
19	3	1,6	0,9	1	1,79	29,582
20	10,125	0,8	0,4	0,5	1,86	29,585
21	3	0,2	2,025	2	1,79	29,609
22	3	0,2	2,025	0,5	1,79	29,64
23	4,5	0,2	1,35	1	1,83	29,667
24	6,75	0,2	0,6	2	1,84	29,699
25	4,5	0,8	0,6	0,5	1,83	29,751

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

C yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en yüksek gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

En Yüksek Gerilme						
Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	2	1,6	0,9	1	3,13	42,358
2	3	0,8	0,4	2	3,18	37,811
3	4,5	0,2	0,9	1	3,09	36,657
4	4,5	0,001	0,9	2	3,1	36,613
5	2	0,2	2,025	1	3,11	36,476
6	2	0,8	1,35	0,5	3,142	36,469
7	6,75	0,4	0,9	1	2,96	36,205
8	2	0,8	2,025	0,5	1,77	36,201
9	4,5	0,2	1,35	0,5	3,02	35,927
10	3	1,6	0,4	2	3,16	35,905
11	3	0,001	0,9	0,5	3,154	35,548
12	6,75	0,2	0,9	2	2,58	35,465
13	6,75	0,001	1,35	2	2,9	35,464
14	10,125	0,4	0,4	1	3,05	35,285
15	4,5	0,4	0,9	2	2,81	35,213
16	6,75	0,2	2,025	1	1,79	35,194
17	6,75	0,8	0,4	1	3,1	35,101
18	2	0,4	0,6	1	3,192	35,027
19	4,5	0,001	0,6	1	3,13	35,026
20	10,125	0,001	2,025	1	1,75	34,957
21	3	0,4	0,6	2	3,17	34,78
22	4,5	0,4	1,35	1	3,02	34,772
23	4,5	1,6	0,9	2	3,05	34,746
24	2	1,6	0,6	1	3,154	34,73
25	4,5	0,4	0,4	1	3,16	34,726

m)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

C yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en düşük gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	10,125	0,8	2,025	0,5	2,48	28,68
2	3	0,2	2,025	0,5	3,04	29,48
3	4,5	0,001	2,025	2	2,93	29,857
4	6,75	0,4	1,35	0,5	2,85	29,97
5	6,75	0,001	0,6	1	3,05	30,04
6	6,75	1,6	0,9	1	2,92	30,165
7	10,125	0,8	1,35	2	2,72	30,454
8	6,75	0,2	0,9	0,5	2,954	30,466
9	4,5	0,8	1,35	1	3,01	30,478
10	6,75	0,4	1,35	2	2,89	30,562
11	4,5	0,8	1,35	2	3,02	30,656
12	10,125	0,2	0,6	1	2,92	30,789
13	4,5	0,001	1,35	0,5	3,02	30,884
14	10,125	1,6	0,4	0,5	2,93	30,893
15	2	1,6	0,9	0,5	3,13	30,919
16	10,125	0,4	0,6	0,5	2,87	30,924
17	3	0,4	1,35	1	3,11	30,929
18	4,5	0,2	0,9	0,5	3,08	31,022
19	4,5	0,4	0,6	0,5	3,12	31,058
20	2	1,6	0,9	2	3,13	31,072
21	2	0,001	2,025	1	3,11	31,077
22	3	1,6	0,9	1	3,1	31,164
23	4,5	0,8	0,6	1	3,12	31,208
24	6,75	0,001	0,4	1	3,11	31,228
25	4,5	0,8	0,4	2	3,17	31,268

n)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

D yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en yüksek gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	2	0,2	0,9	0,5	3,02	56,38
2	3	0,2	0,9	0,5	2,97	55,38
3	2	0,2	2,025	1	2,94	47,164
4	3	0,2	2,025	0,5	2,83	46,92
5	2	0,2	2,025	2	2,94	46,271
6	3	0,2	1,35	0,5	2,92	45,88
7	3	0,2	2,025	2	2,84	45,475
8	2	0,2	2,025	0,5	2,94	45,448
9	3	0,2	1,35	1	2,95	45,261
10	3	0,2	2,025	1	2,83	45,227
11	3	0,2	1,35	2	2,93	44,172
12	3	0,2	0,9	1	2,98	43,947
13	2	0,2	1,35	1	2,99	43,529
14	3	0,4	1,35	1	2,92	43,481
15	2	0,2	1,35	2	3	43,163
16	2	0,2	0,9	1	3,03	42,418
17	2	0,2	1,35	0,5	2,99	42,393
18	3	0,001	1,35	0,5	2,92	41,457
19	3	0,2	0,9	2	2,98	41,426
20	4,5	0,2	0,6	2	2,97	41,351
21	4,5	0,2	0,9	2	2,89	40,888
22	2	0,2	0,9	2	3,03	40,724
23	4,5	0,2	0,9	1	2,87	40,515
24	3	0,2	0,6	1	3,01	40,405
25	3	0,2	0,6	2	3,02	40,161

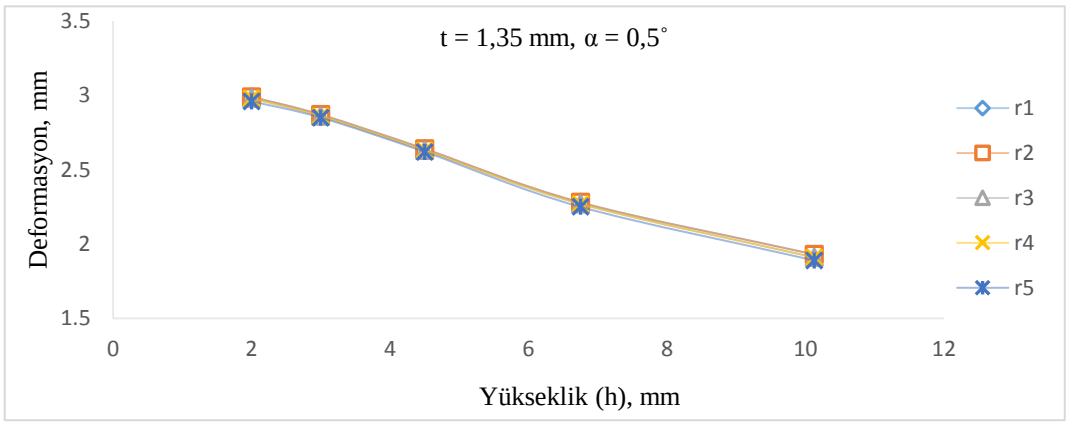
o)

Ek-1. (devam) Deformasyonla gerilmede en yüksek ve en düşük değerler

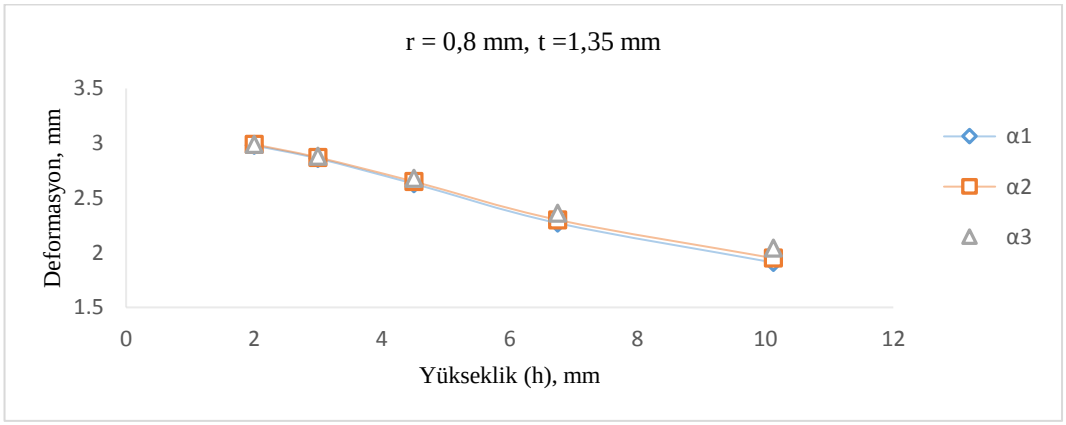
D yüzeyinden uygulanan basınçnden uygulanan basınç'ta en düşük gerilmeye bağlı olan federlerin parametreleri

Sıra	Yükseklik, mm	Yarıçap, mm	Kalınlık, mm	Açı, °	Deformasyon, mm	Gerilme, MPa
1	10,125	0,8	2,025	0,5	1,72	21,577
2	10,125	0,8	2,025	1	1,76	21,698
3	10,125	0,8	2,025	2	1,85	21,735
4	10,125	0,4	2,025	2	1,85	21,75
5	10,125	0,001	2,025	2	1,85	21,84
6	10,125	0,4	2,025	1	1,77	22,31
7	10,125	0,001	1,35	0,5	1,99	22,63
8	10,125	0,001	2,025	0,5	1,73	22,687
9	10,125	1,6	1,35	0,5	1,96	22,69
10	10,125	0,001	2,025	1	1,77	22,77
11	10,125	0,2	1,35	0,5	1,99	22,845
12	10,125	0,8	1,35	0,5	1,98	22,864
13	10,125	0,4	1,35	0,5	1,98	22,91
14	10,125	1,6	1,35	1	3,02	23,198
15	10,125	0,8	1,35	1	2,04	23,291
16	10,125	0,2	2,025	2	1,85	23,301
17	10,125	0,4	1,35	1	2,04	23,407
18	10,125	0,001	1,35	1	2,04	23,504
19	10,125	0,2	1,35	1	2,04	23,635
20	10,125	0,4	2,025	0,5	1,73	23,648
21	10,125	0,8	1,35	2	2,17	24,659
22	10,125	1,6	1,35	2	2,15	24,725
23	10,125	0,4	1,35	2	2,18	24,86
24	10,125	0,001	1,35	2	2,18	24,88
25	10,125	0,2	1,35	2	2,18	25,118

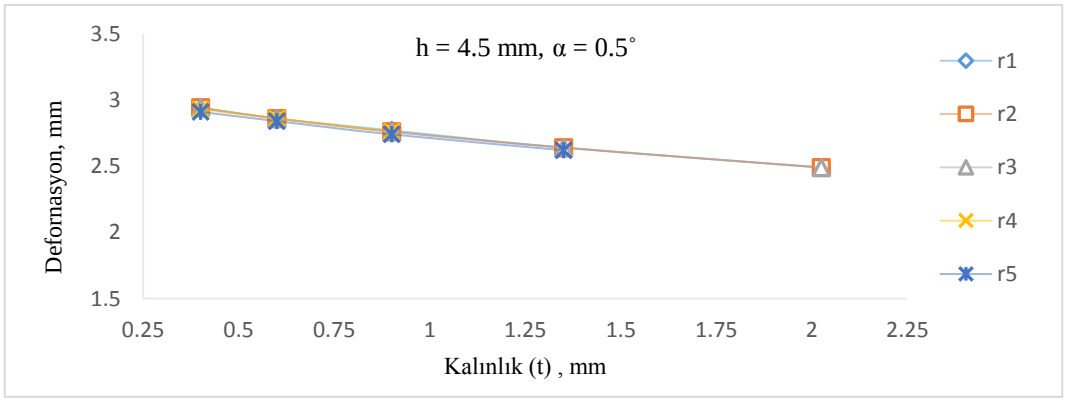
Ek- 2. A Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



a)

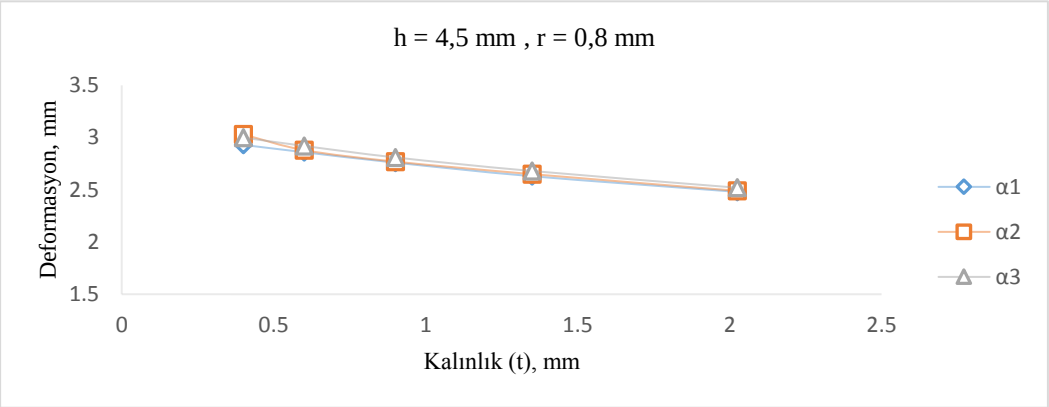


b)

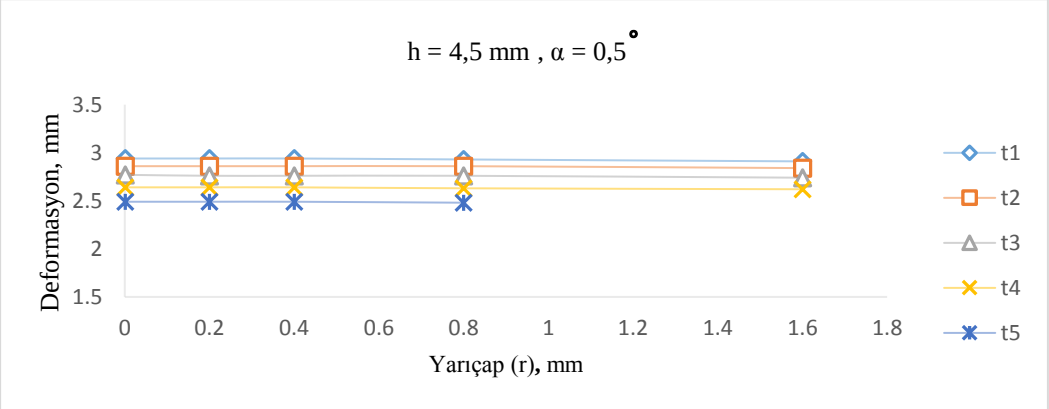


c)

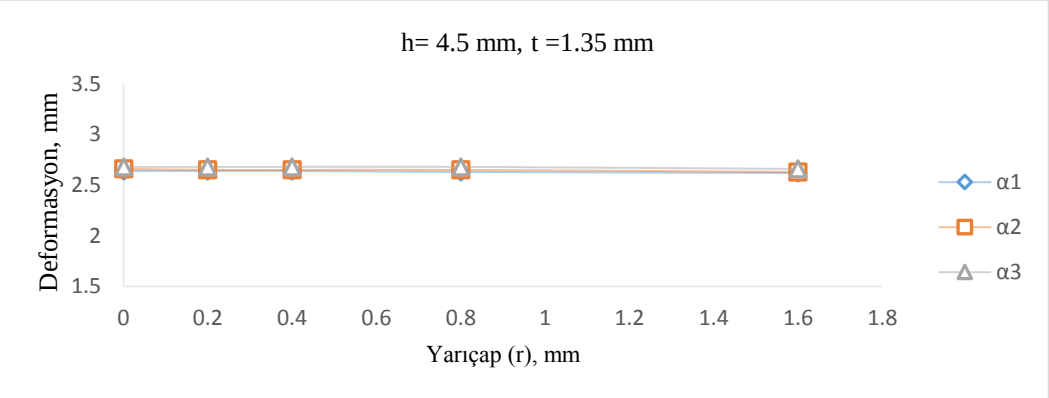
Ek-2. (devam) A Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



d)

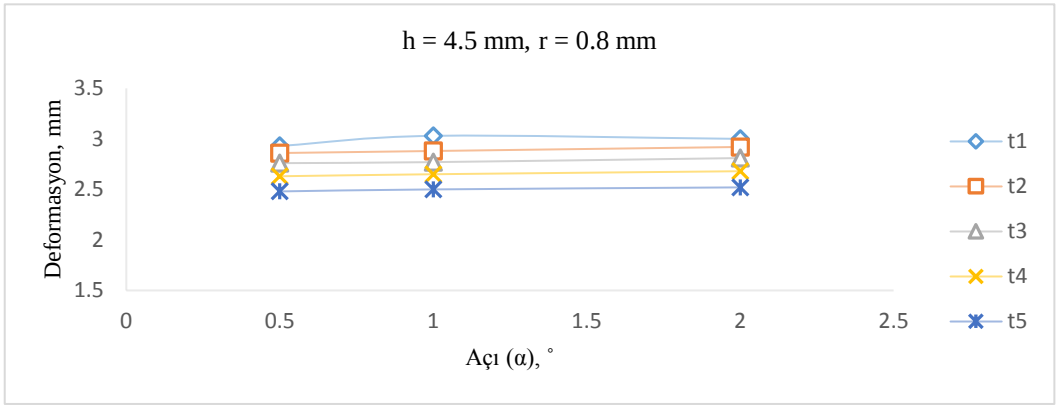


e)

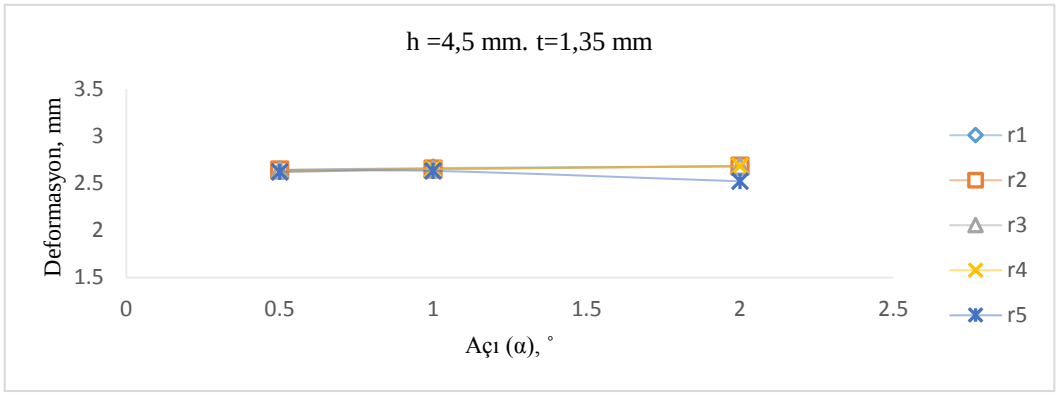


f)

Ek-2. (devam) A Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi

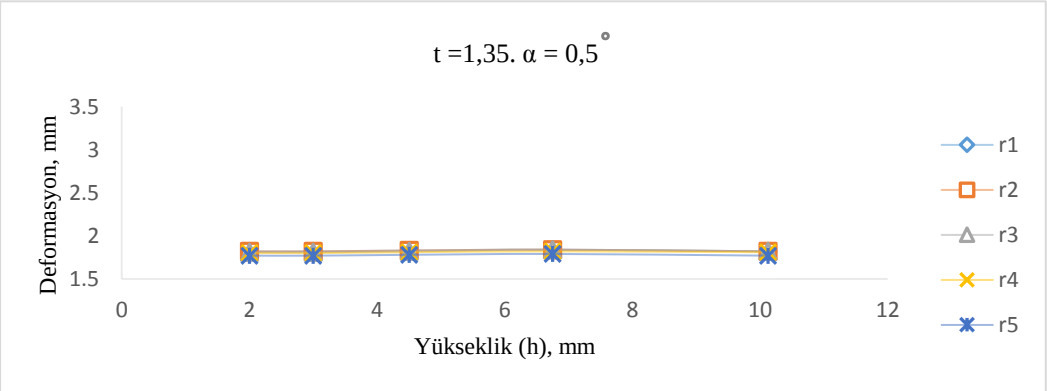


j)

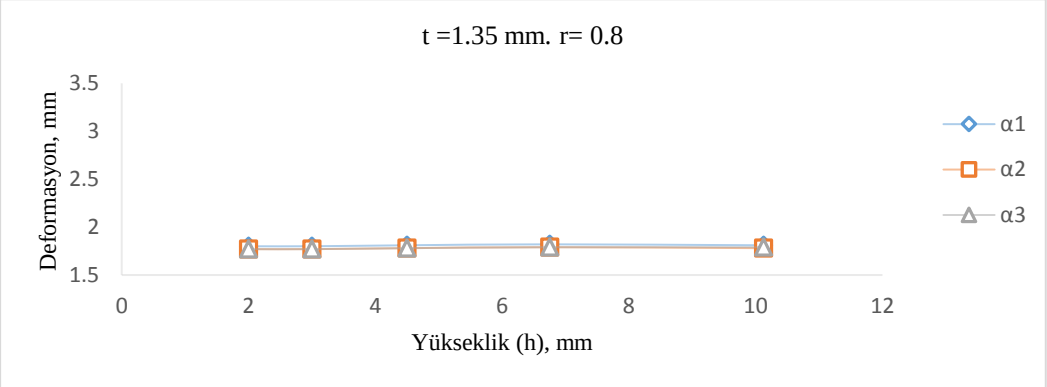


h)

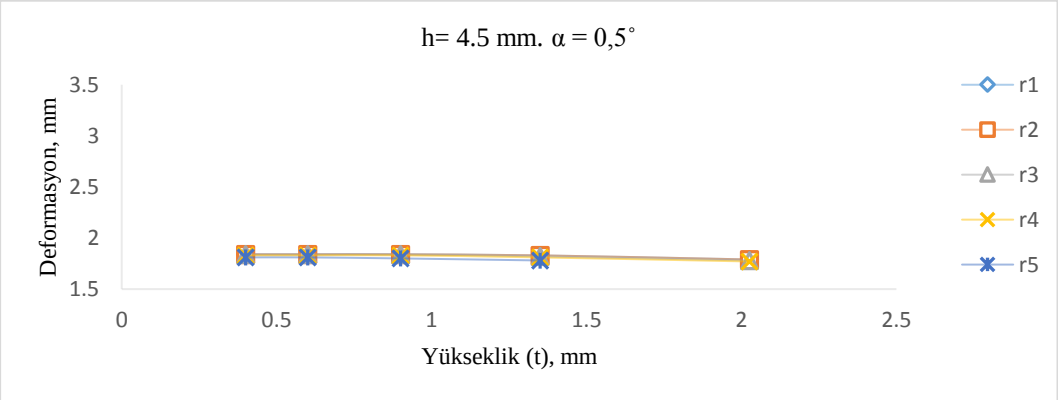
Ek- 3. B Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



a)

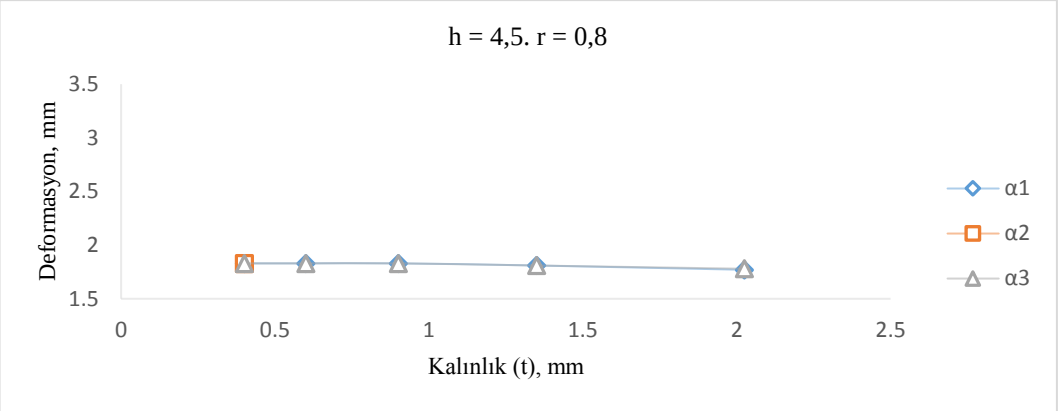


b)

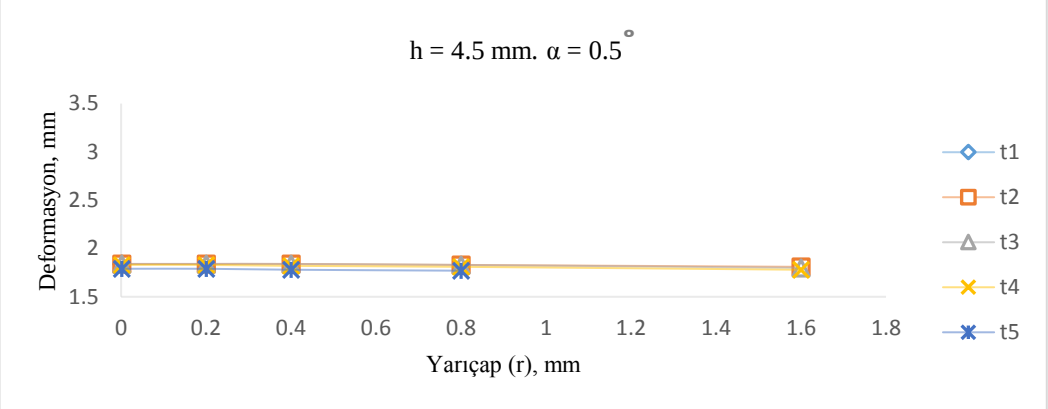


c)

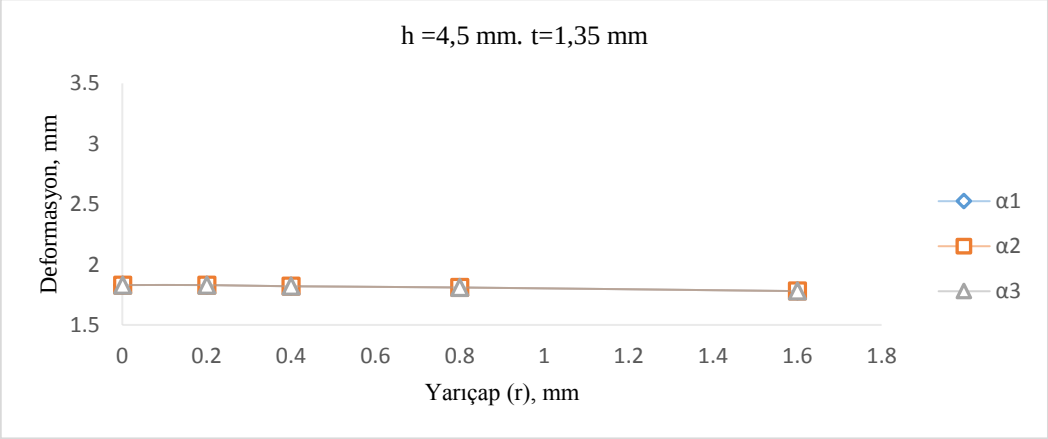
Ek-3. (devam) B Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



d)

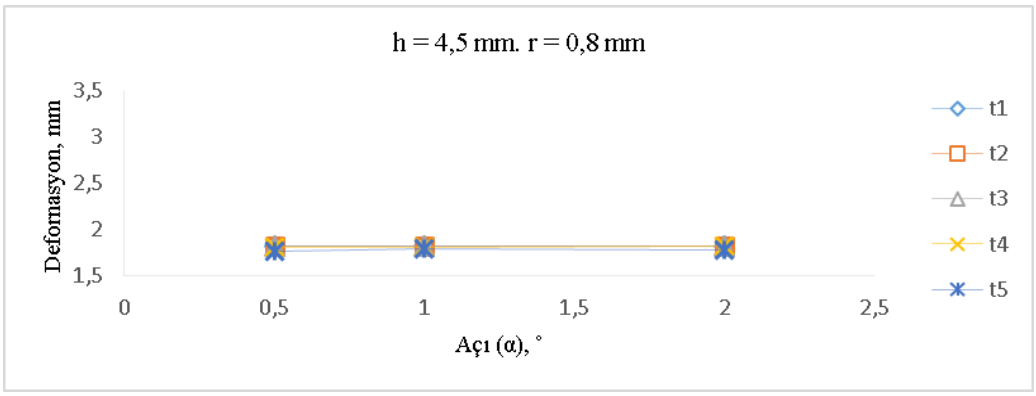


e)



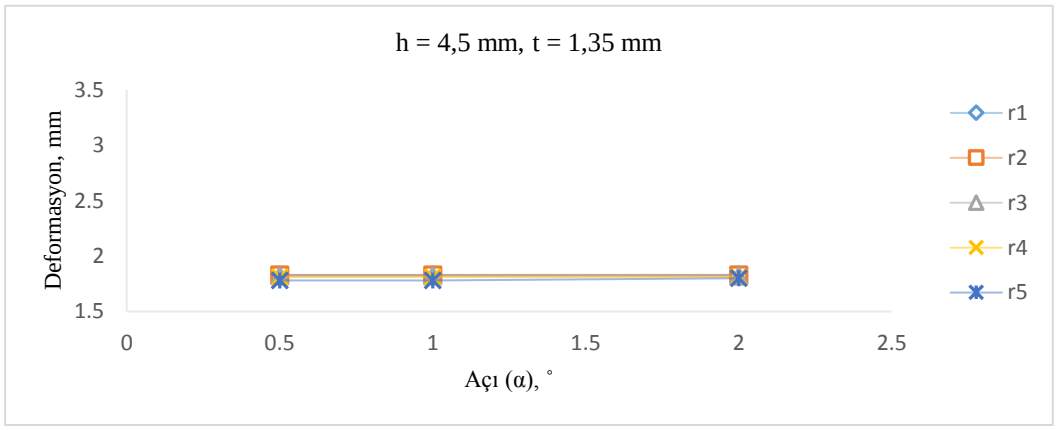
f)

Ek-3. (devam) B Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



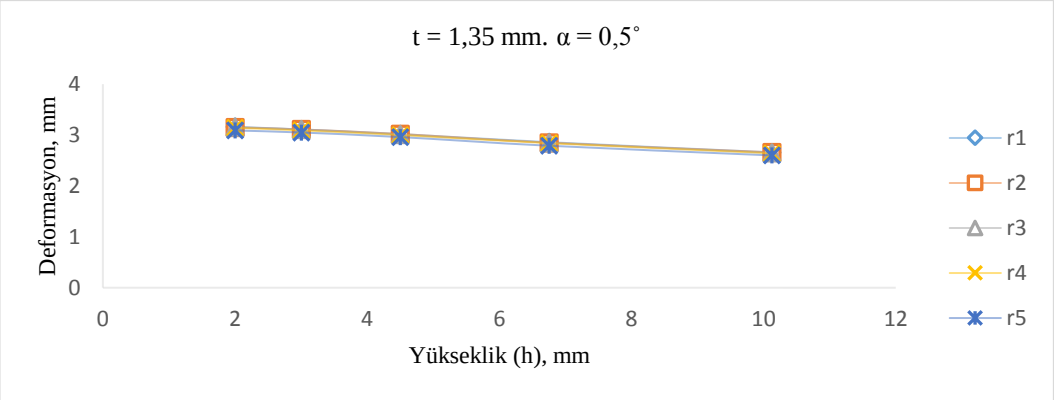
.

j)

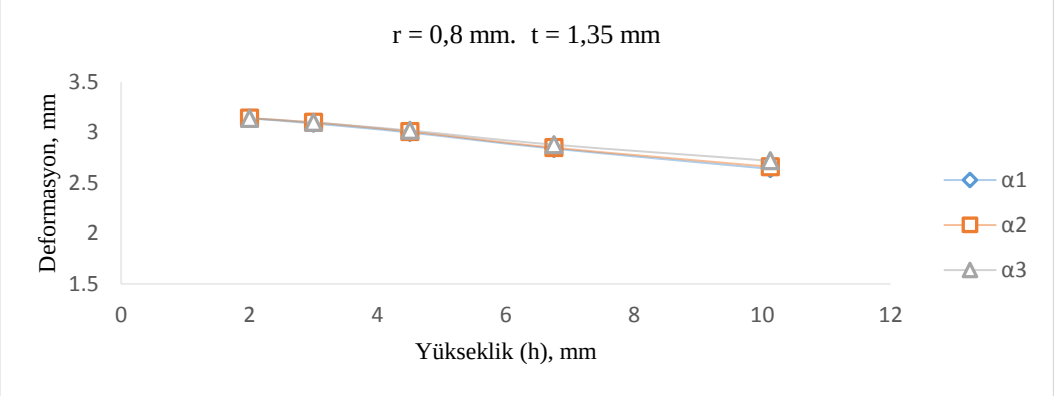


h)

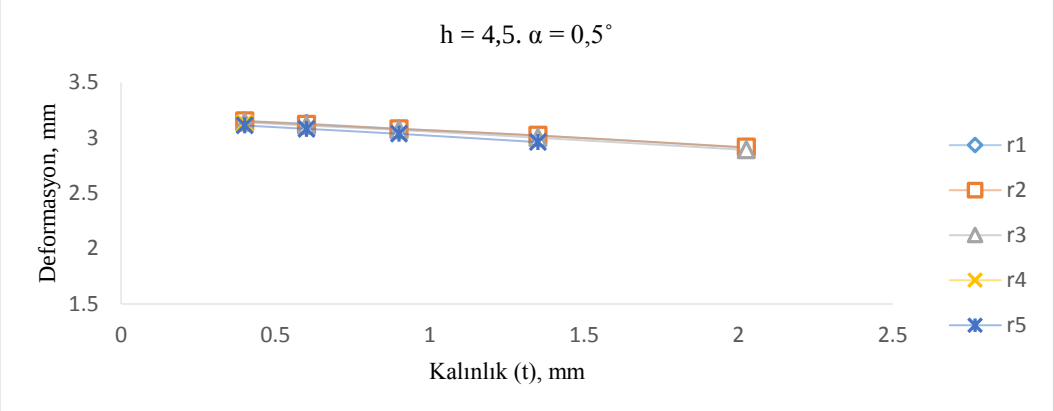
Ek- 4. C Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



a)

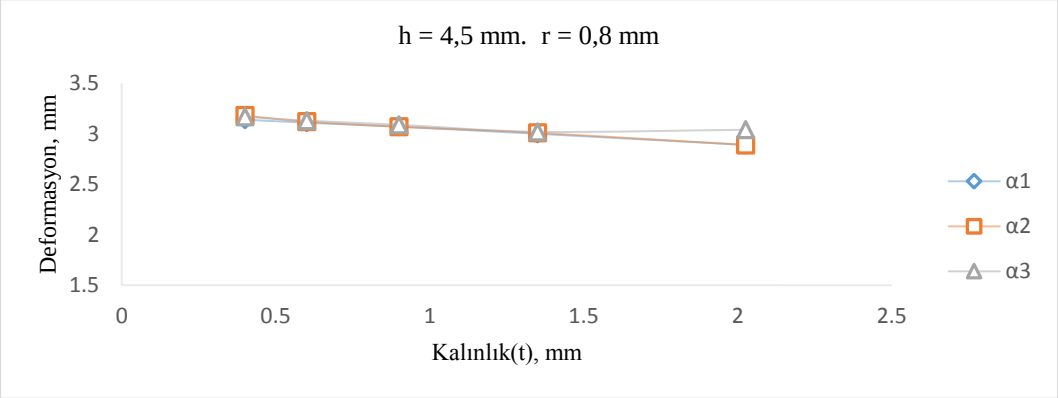


b)

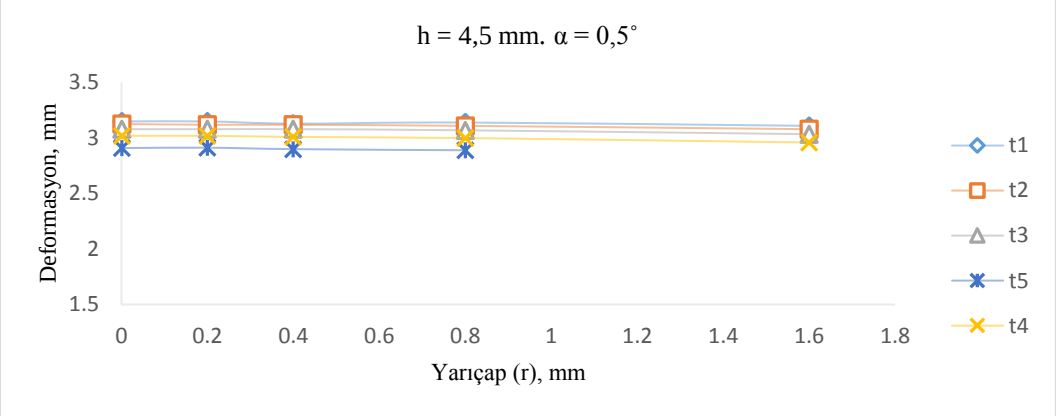


c)

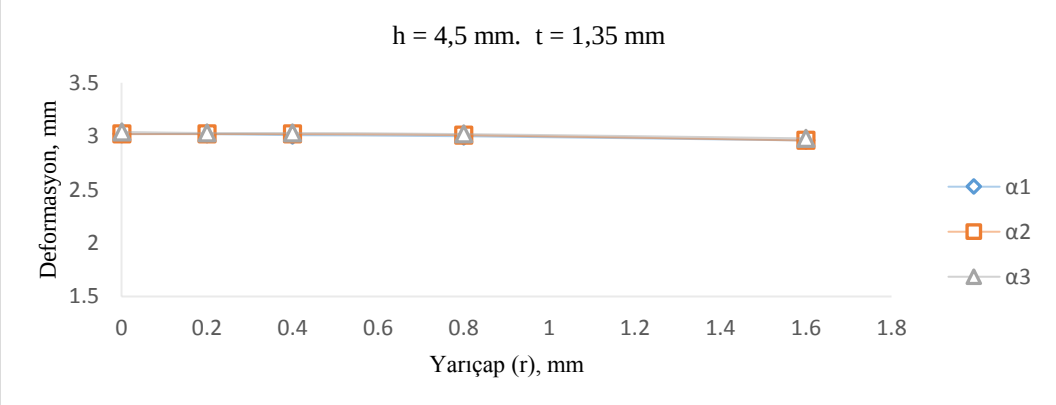
Ek- 4. (devam) C Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



d)

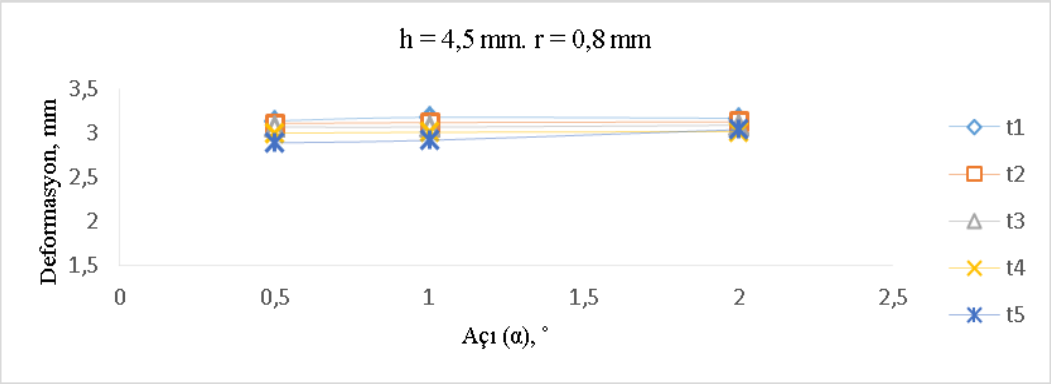


e)

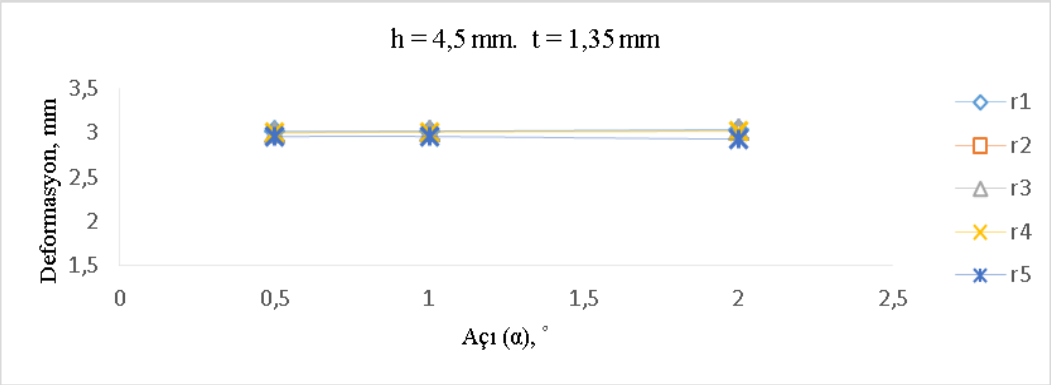


f)

Ek- 4. (devam) C Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi

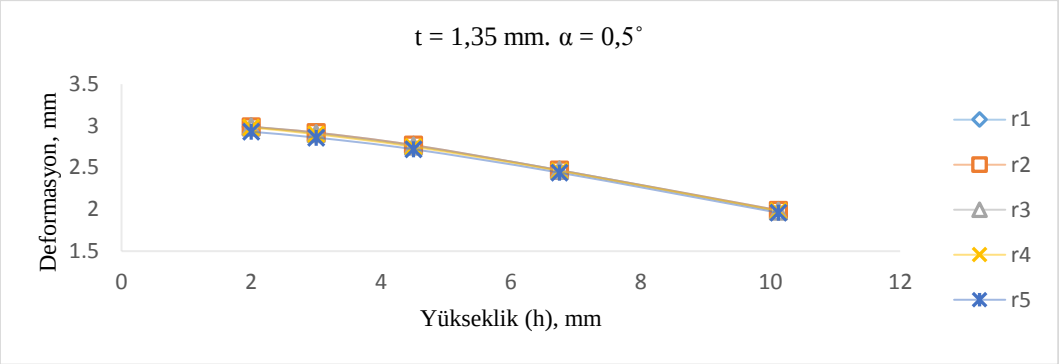


j)

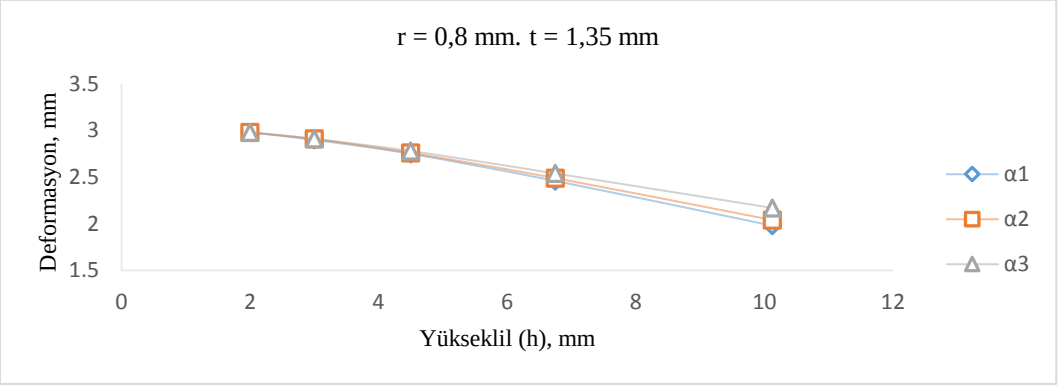


h)

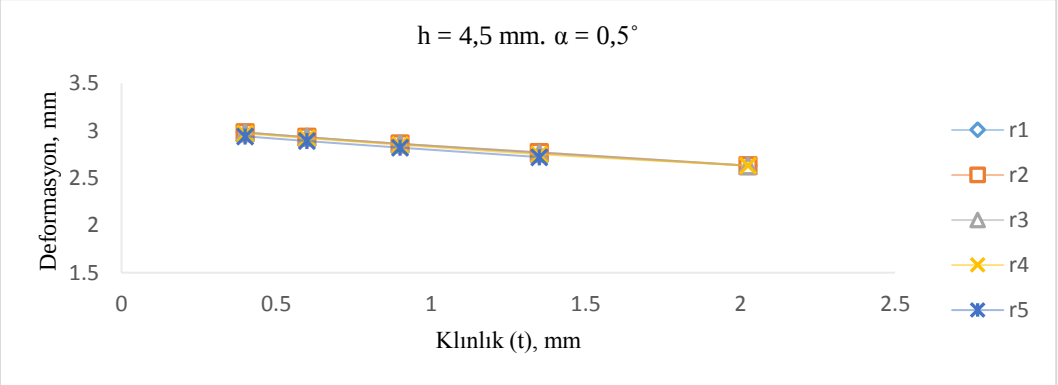
Ek- 5. D Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



a)

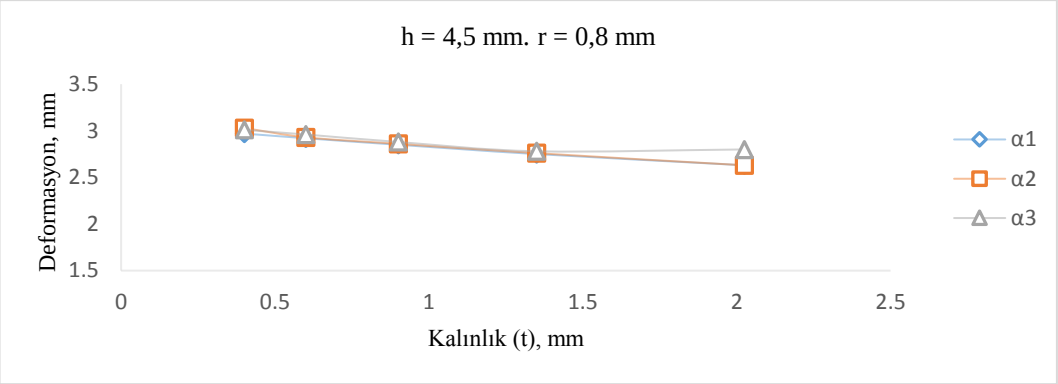


b)

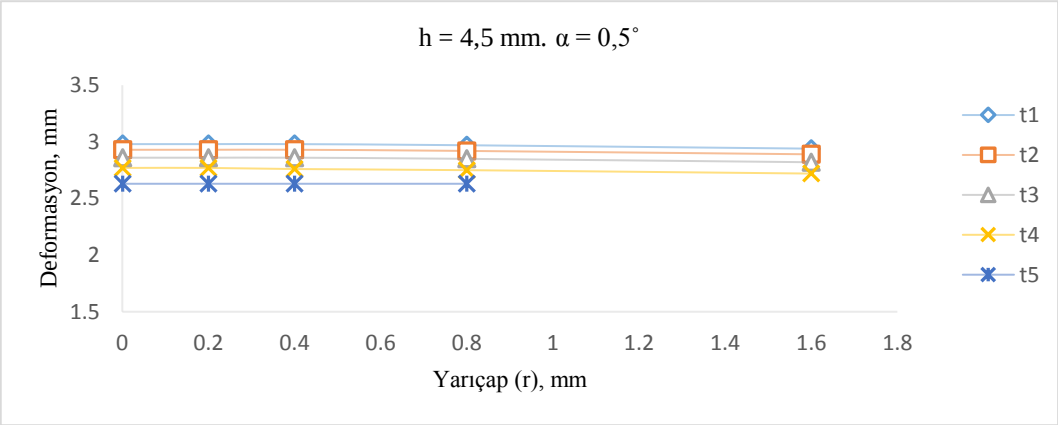


c)

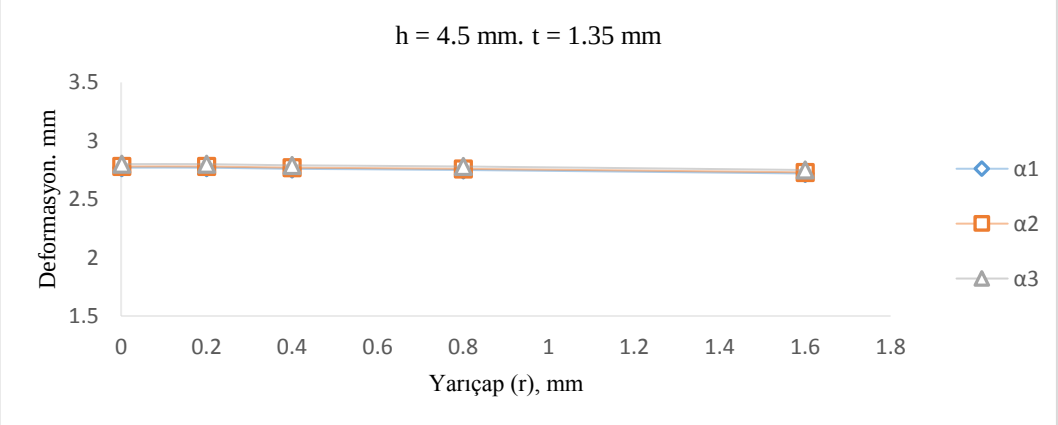
Ek-5. (devam) D Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi



d)

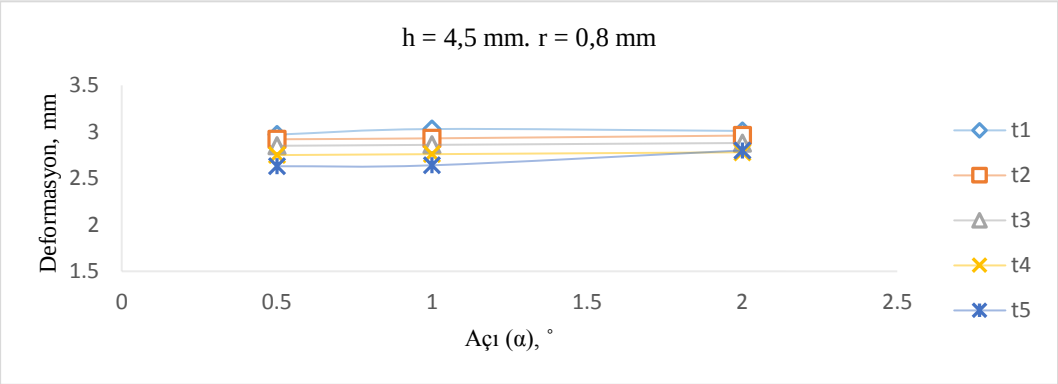


e)

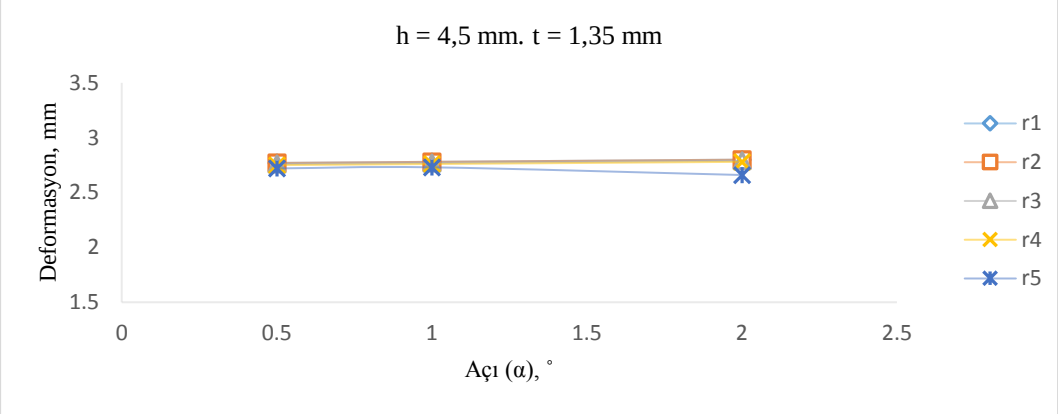


f)

Ek-5. (devam) D Yüzeyinden uygulanan basinçin deformasyon üzerinde etkisi

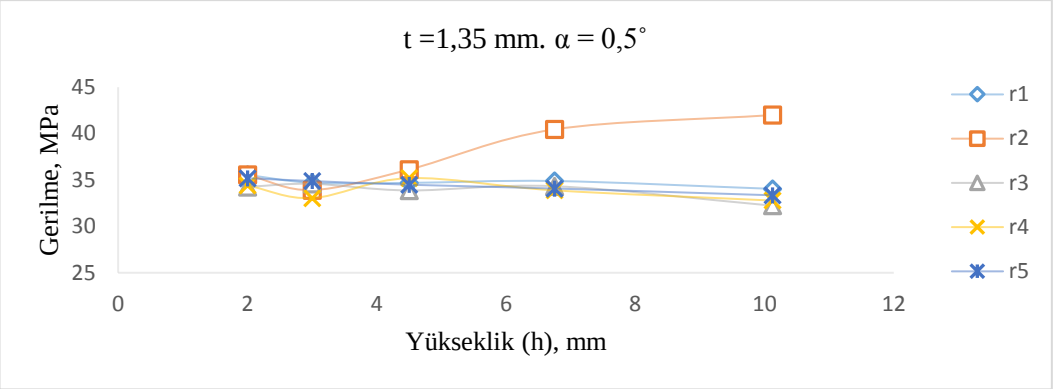


j)

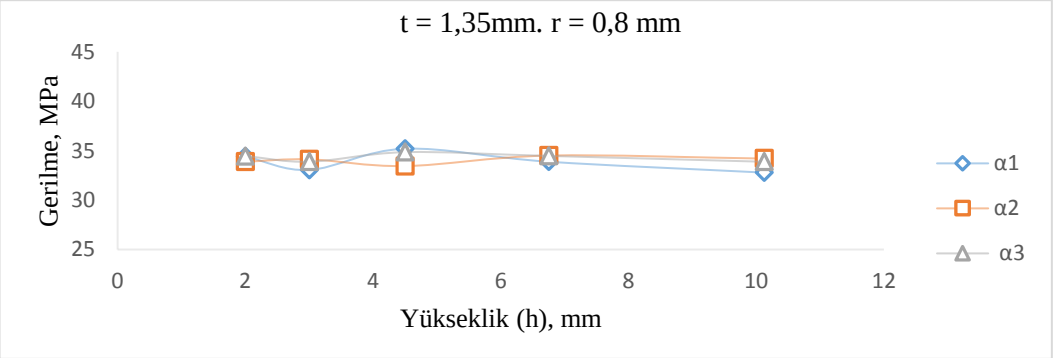


h)

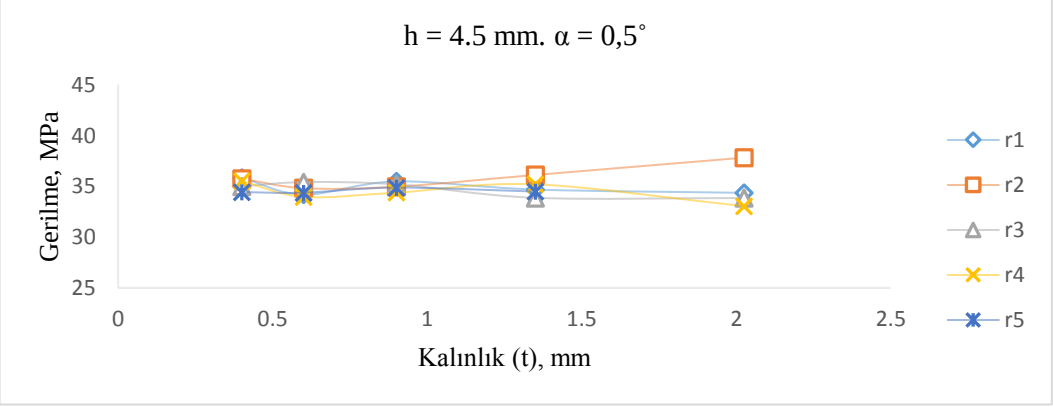
Ek- 6. A Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



a)

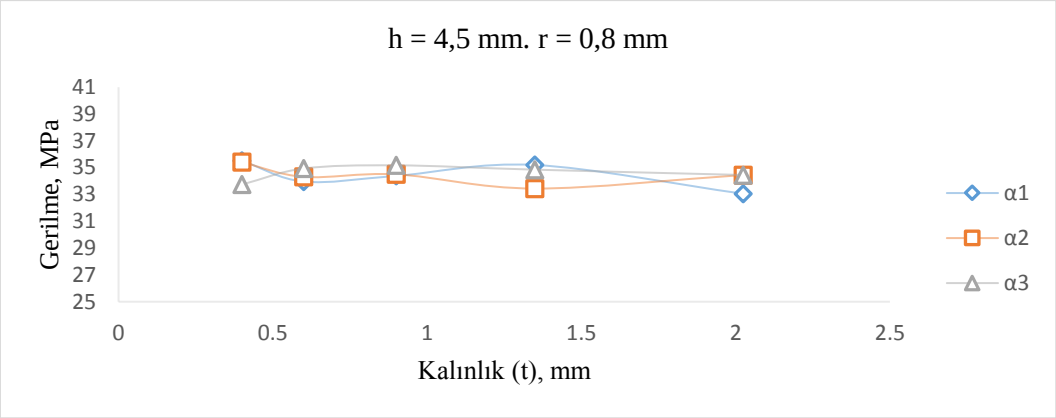


b)

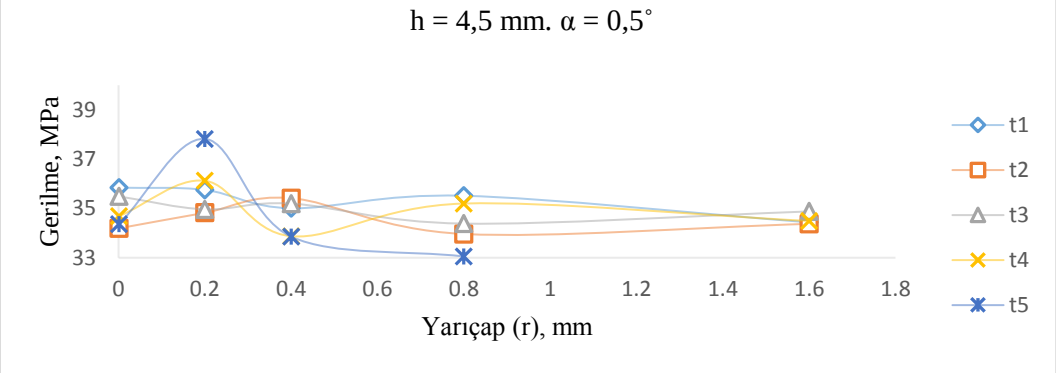


c)

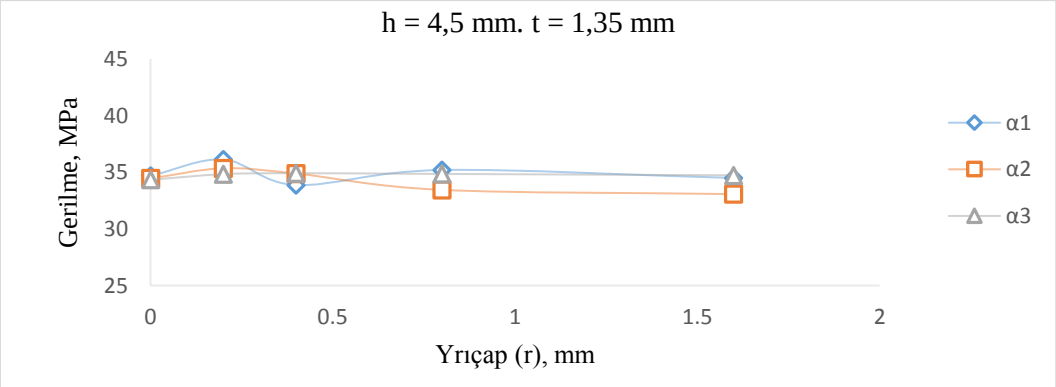
Ek-6. (devam) A Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



d)

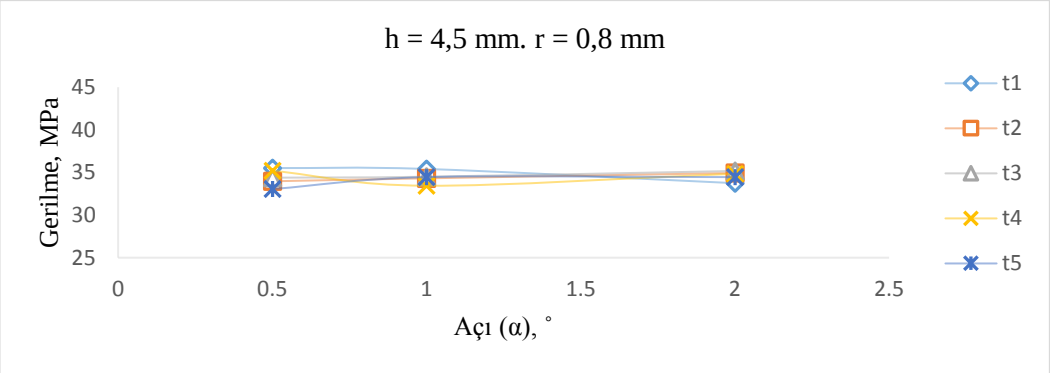


e)

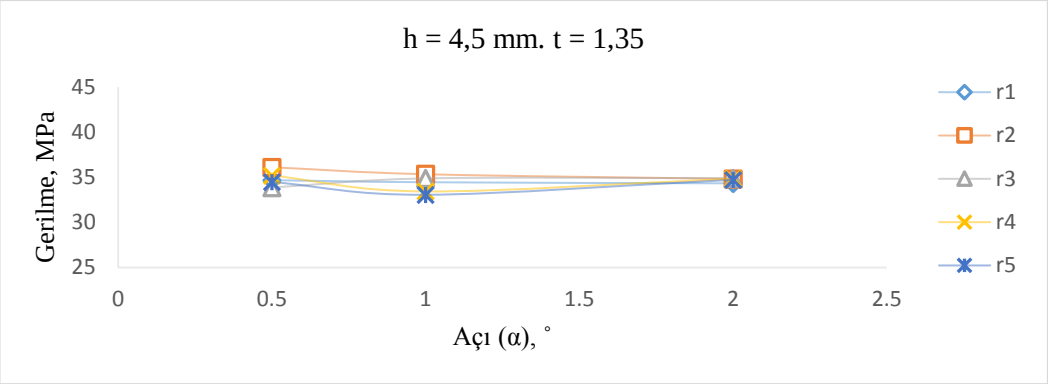


f)

Ek-6. (devam) A Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi

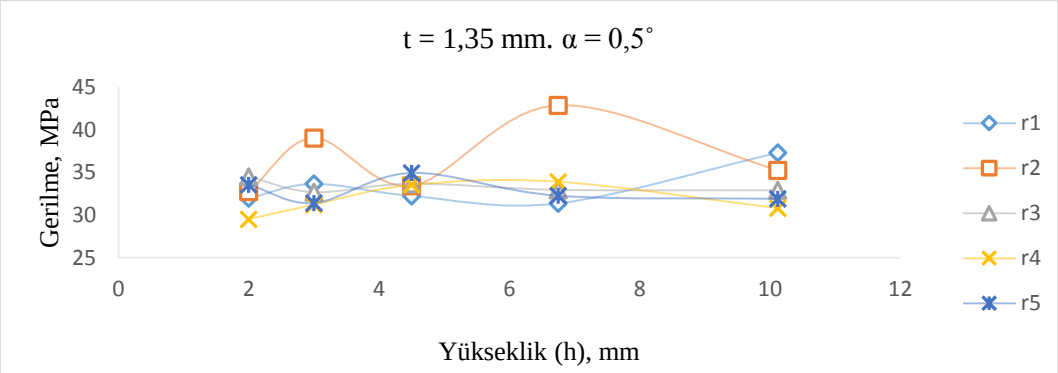


j)

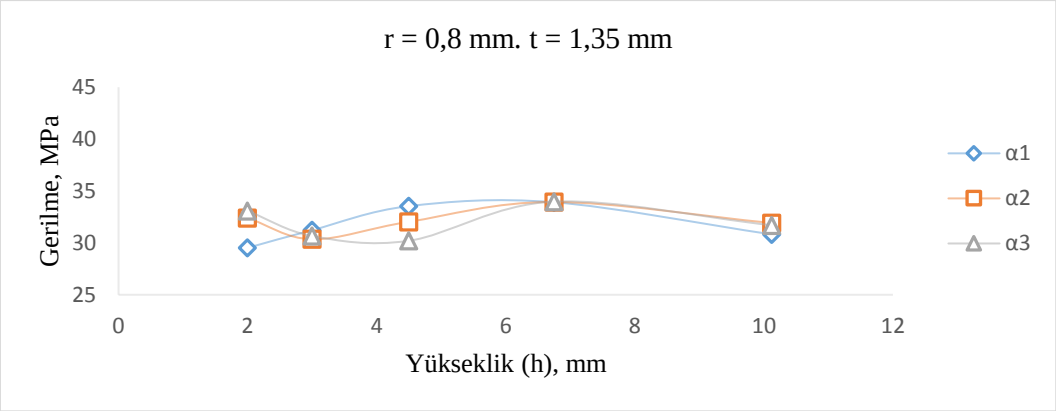


h)

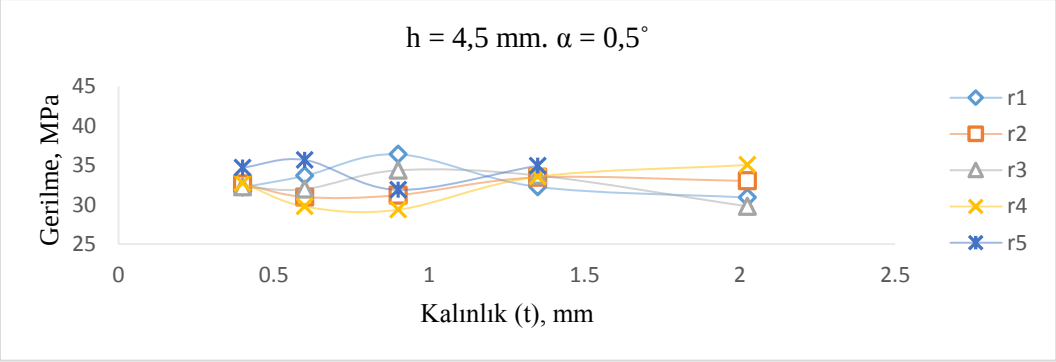
Ek- 7. B Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



a)

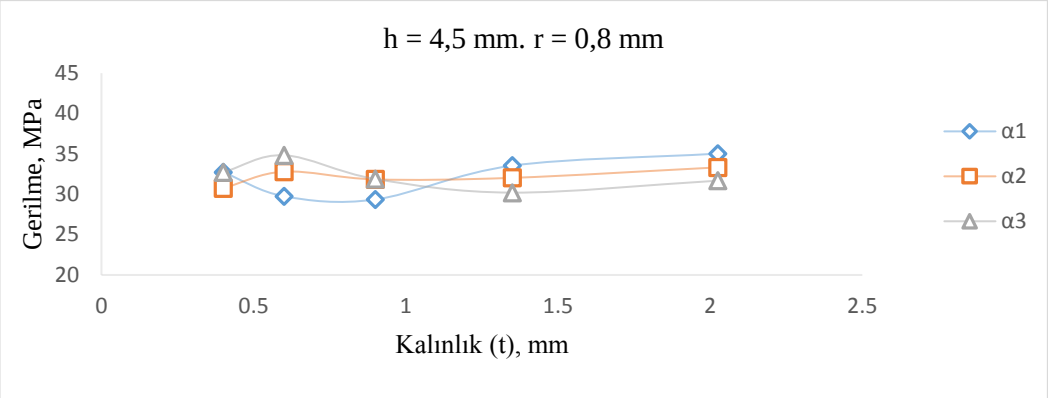


b)

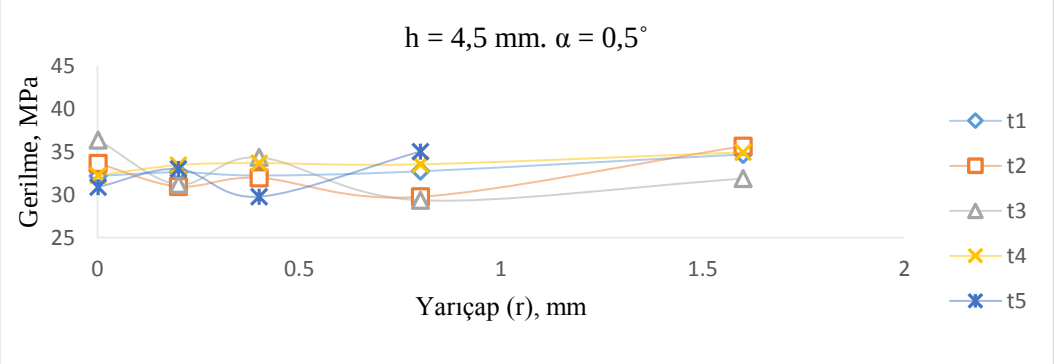


c)

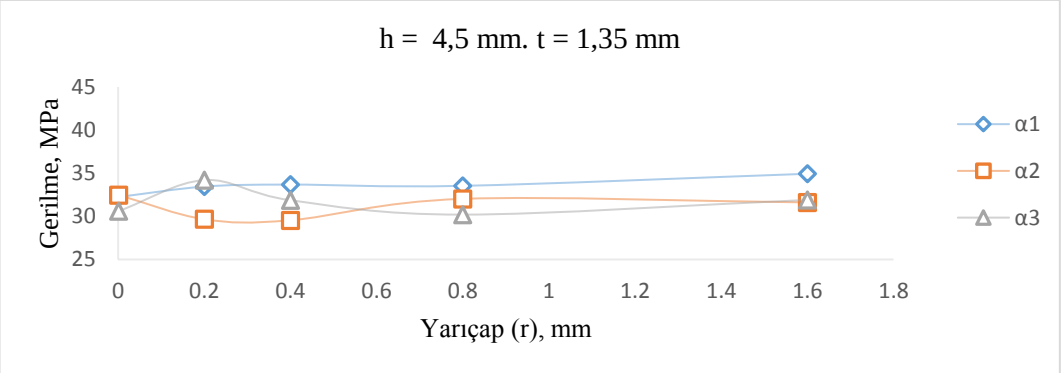
Ek-7. (devam) B Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



d)

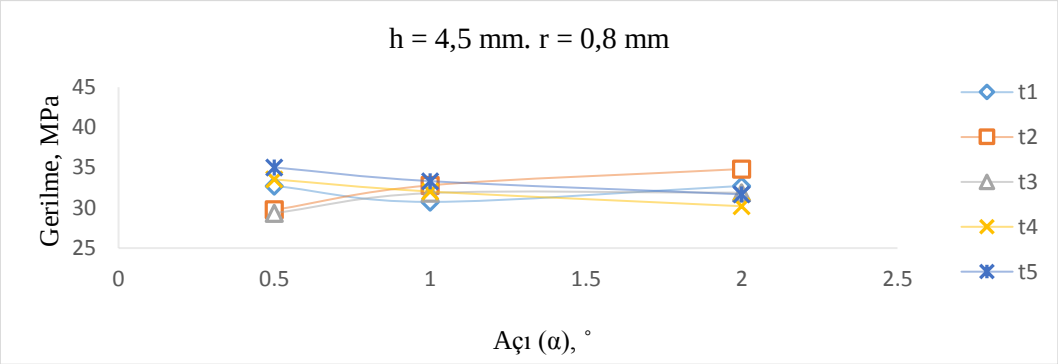


e)

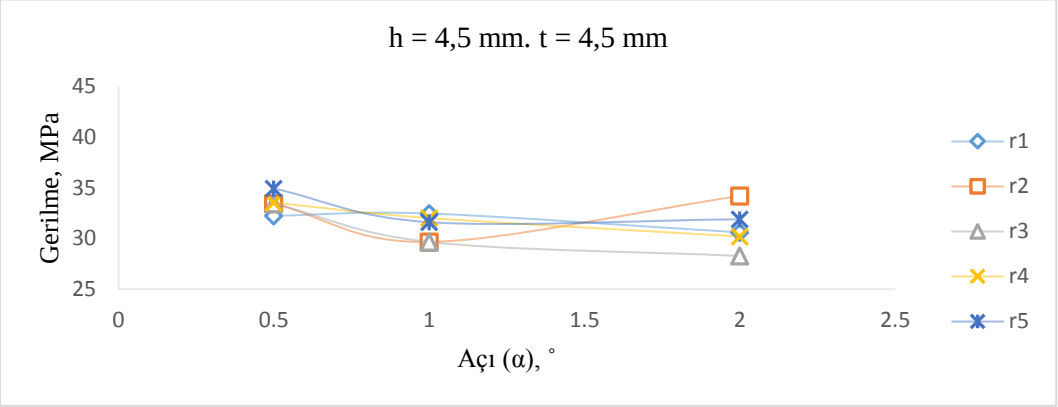


f)

Ek-7. (devam) B Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi

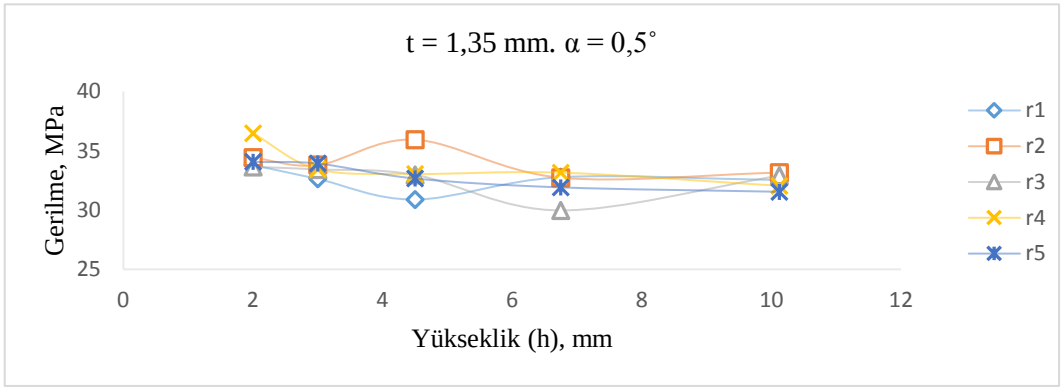


J)

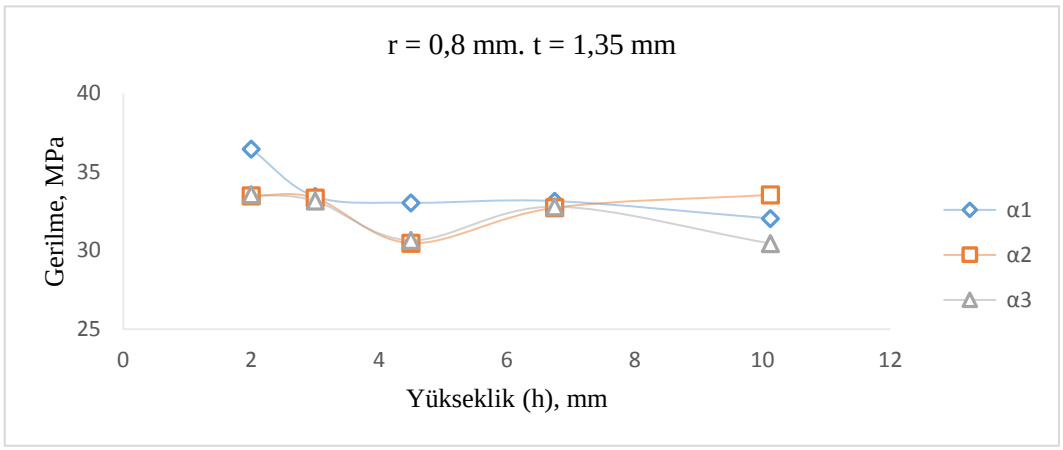


h)

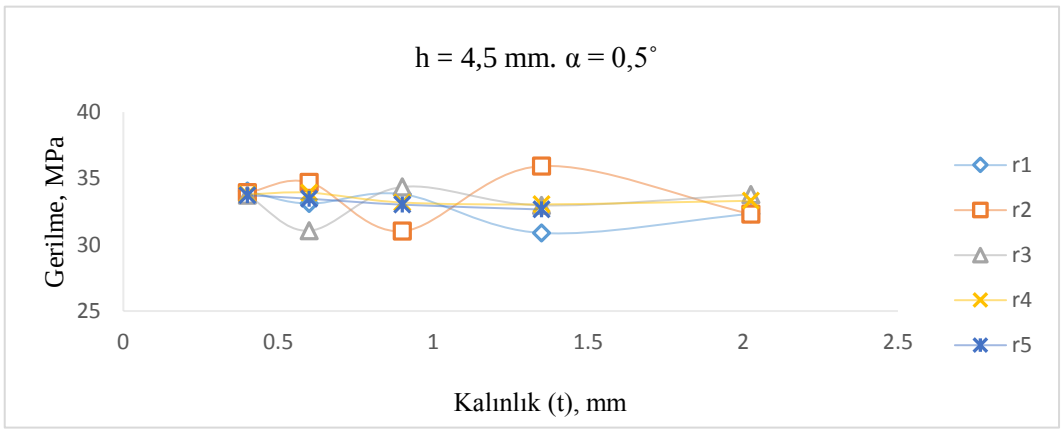
Ek- 8. C Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



a)

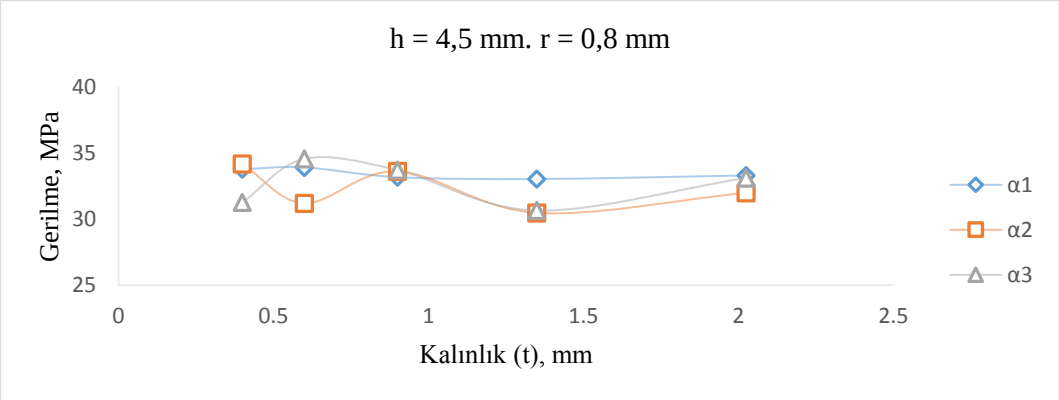


b)

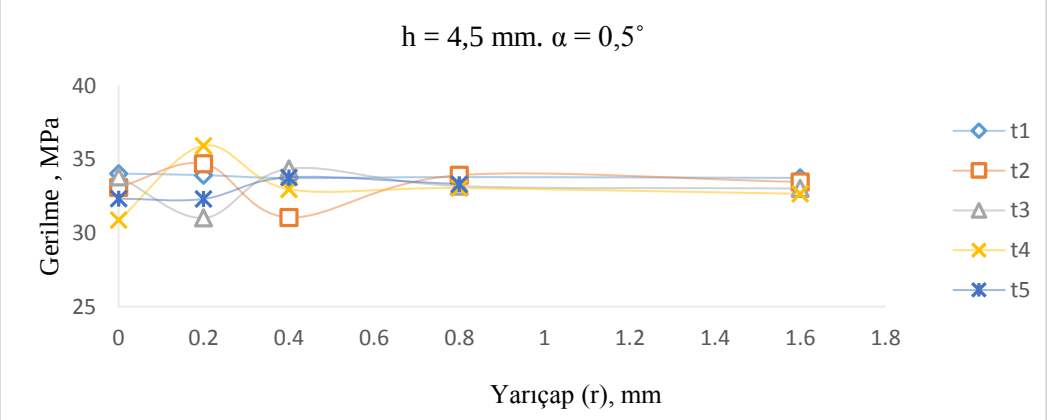


c)

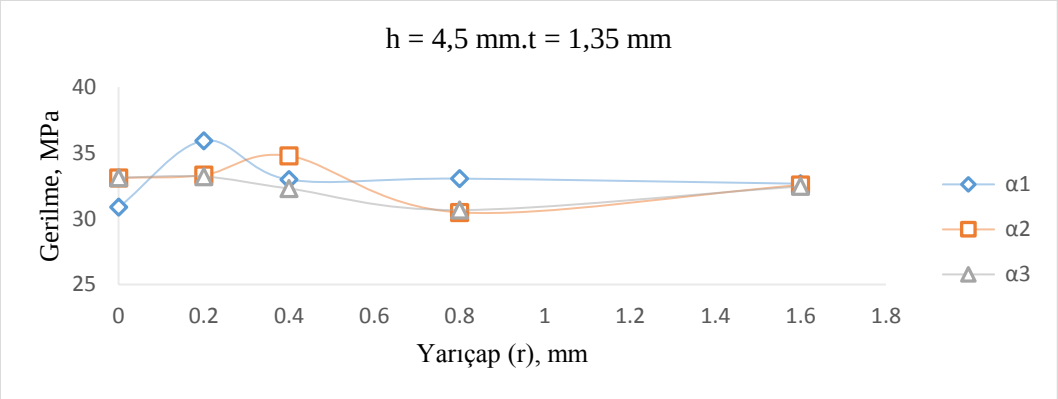
Ek-8. (devam).C Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



d)

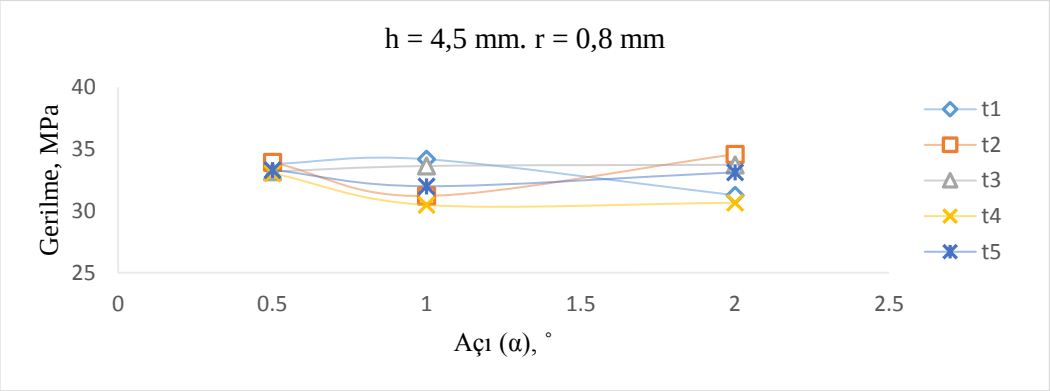


e)

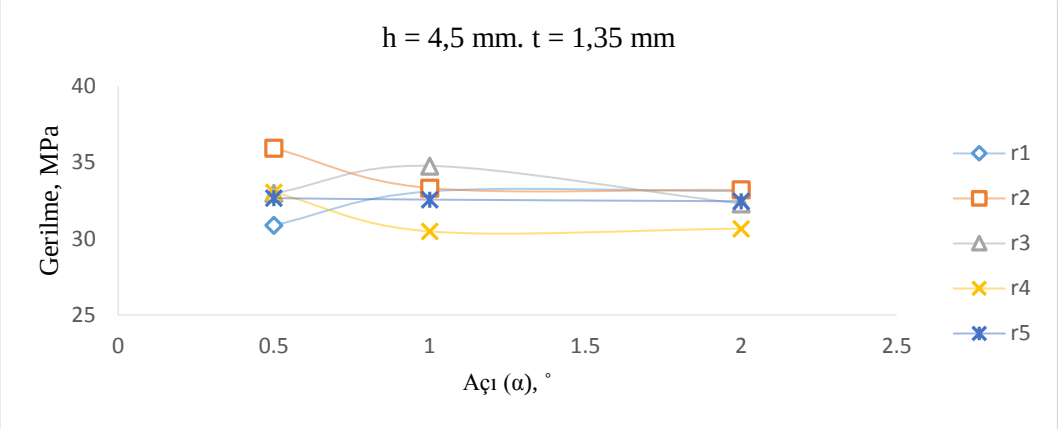


f)

Ek-8. (devam). C Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi

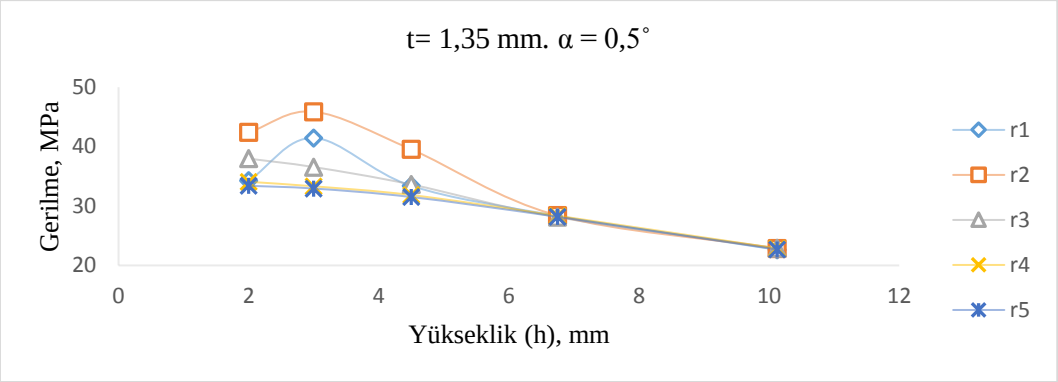


j)

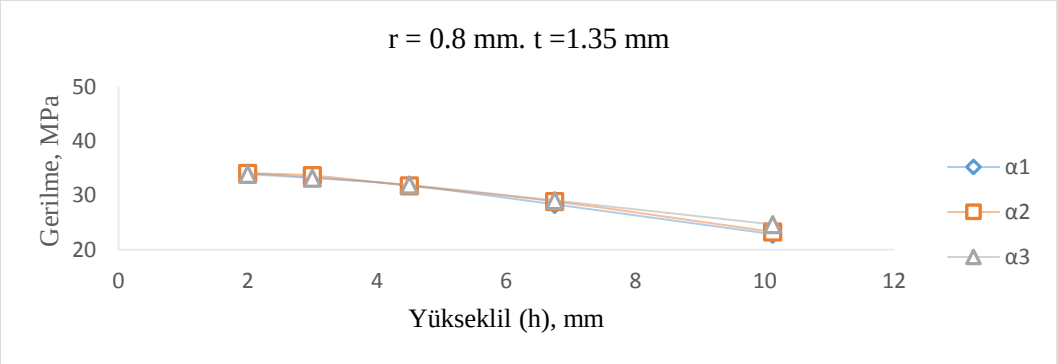


h)

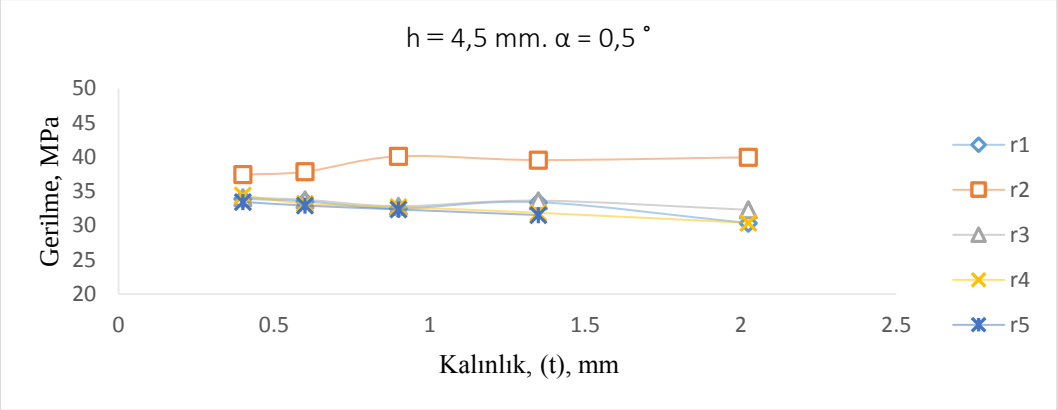
Ek- 9. D Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



a)

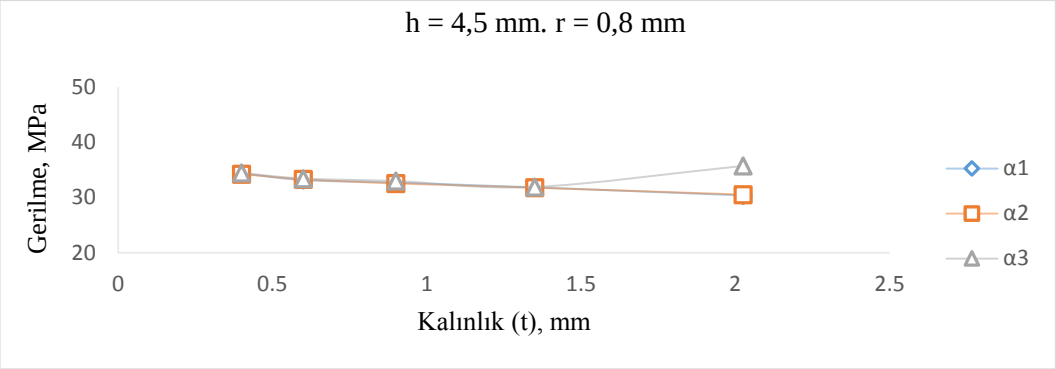


b)

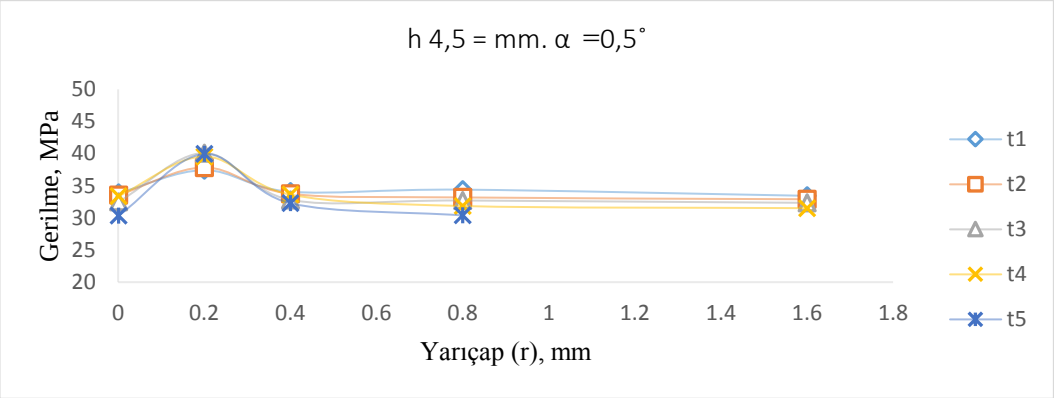


c)

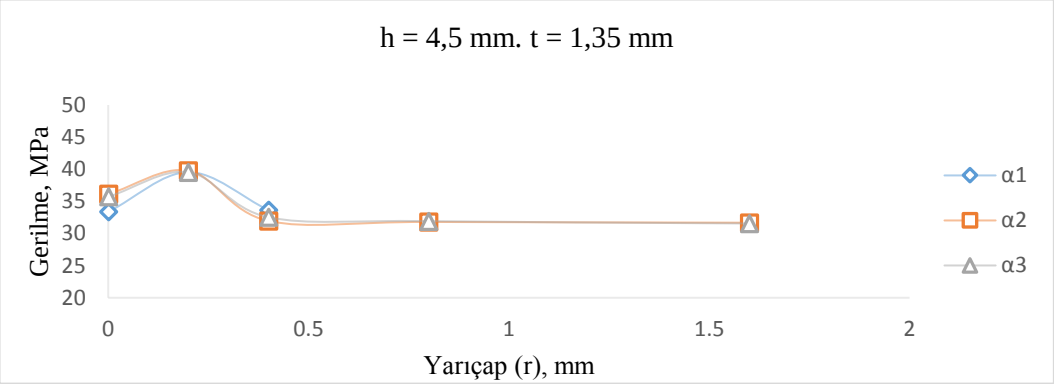
Ek- 9. (devam) D Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



d)

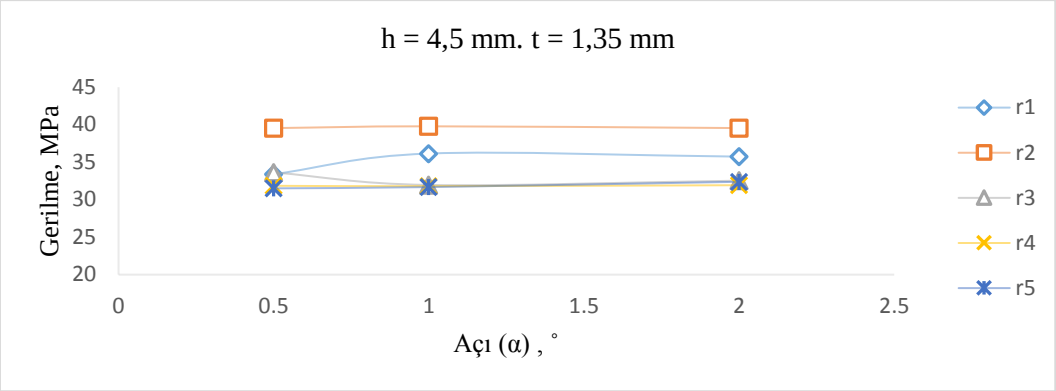


e)

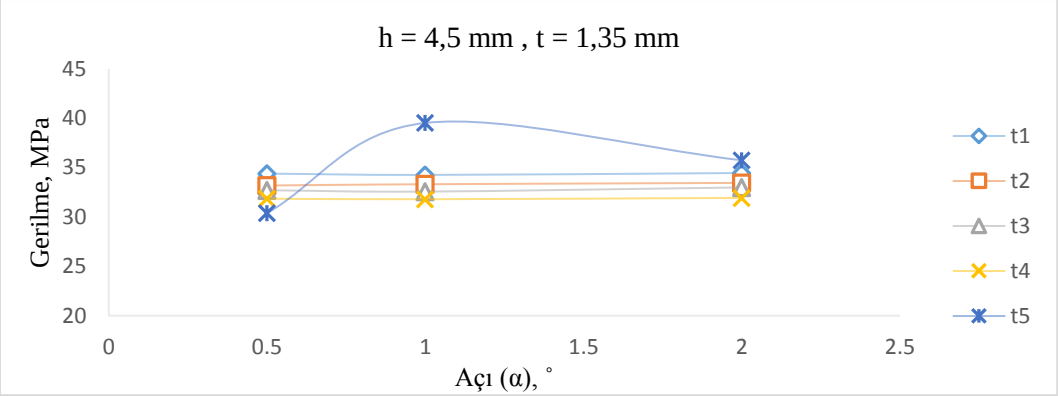


f)

Ek- 9. (devam) D Yüzeyinden uygulanan basinçin gerilme üzerinde etkisi



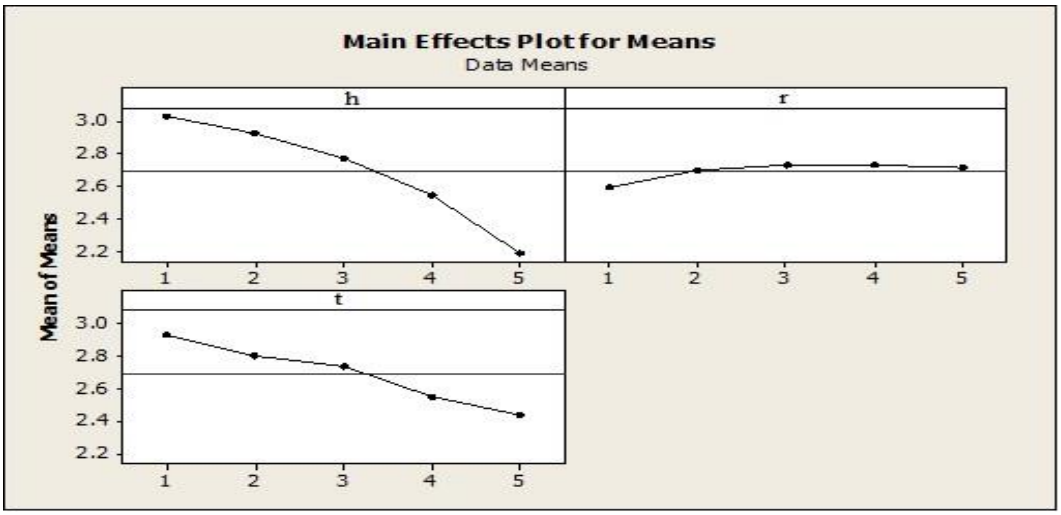
j)



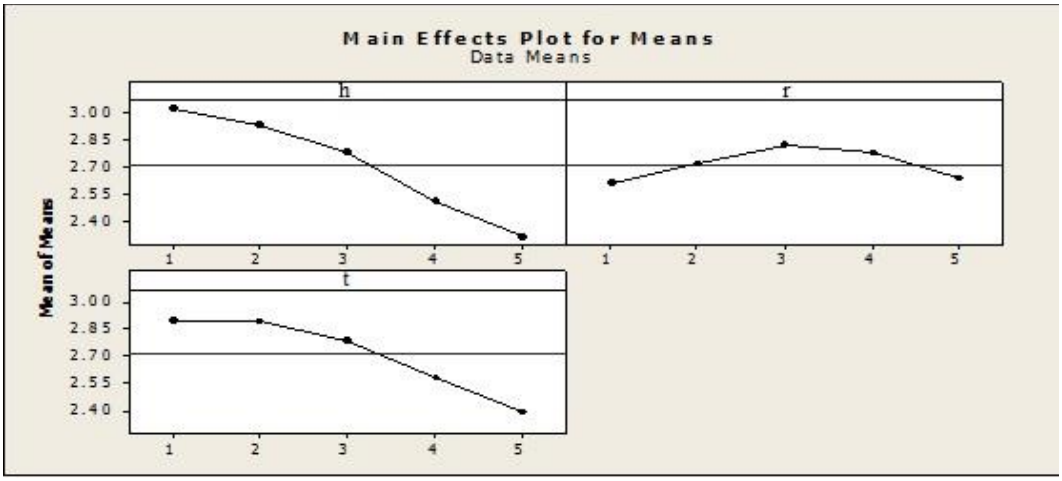
h)

Ek- 10. Taguchi diagramları

Deformasyon üzerinde A yüzeyinden uygulanan basıncın etkisi (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)

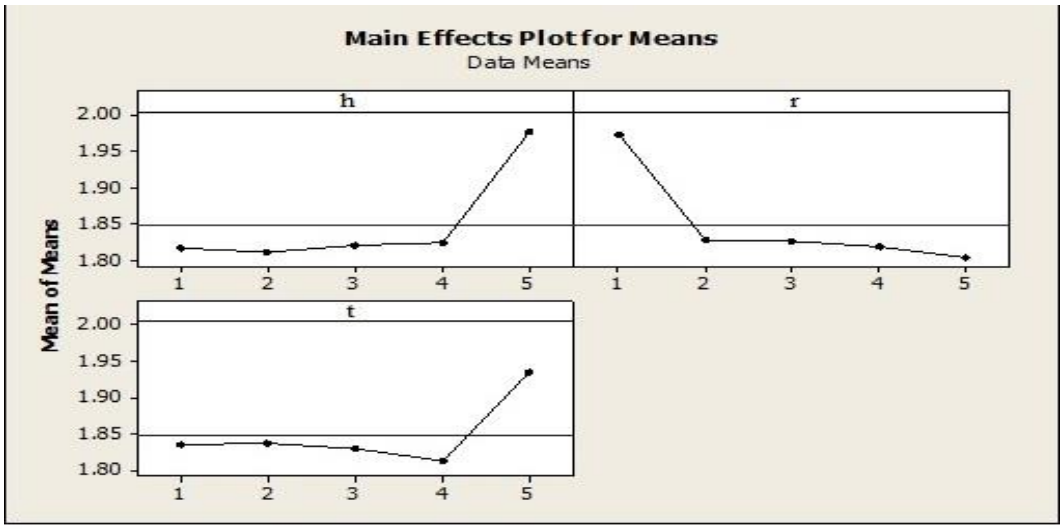


Deformasyon üzerinde A yüzeyinden uygulanan basıncın etkisi (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

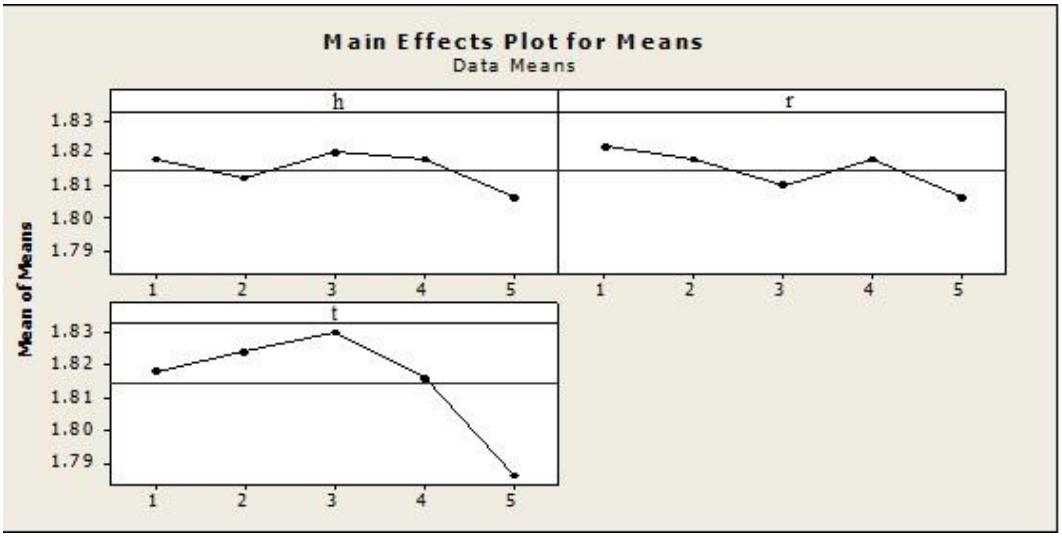


Ek- 10. (devam) Taguchi diagramları

Deformasyon üzerinde B yüzeyinden uygulanan basincin etkisi (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)

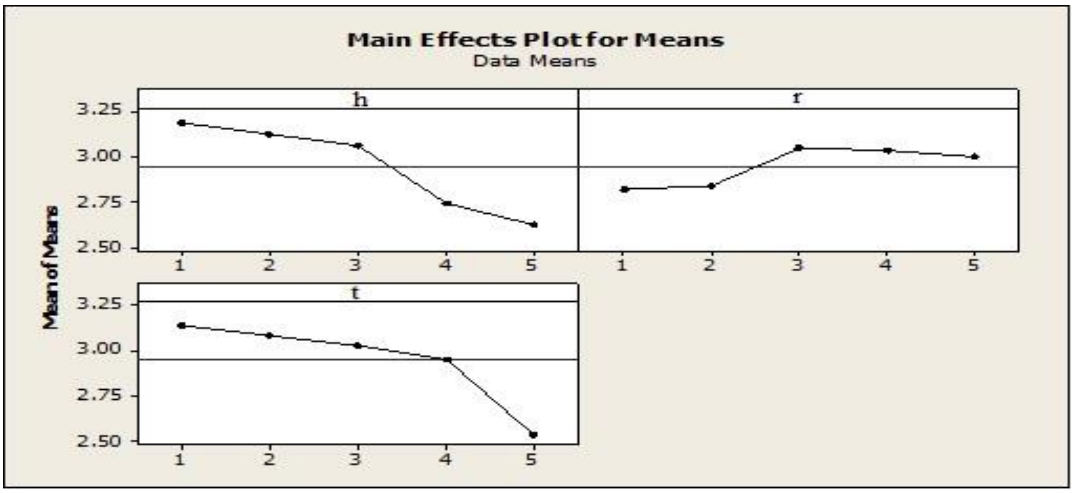


Deformasyon üzerinde B yüzeyinden uygulanan basincin etkisi (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

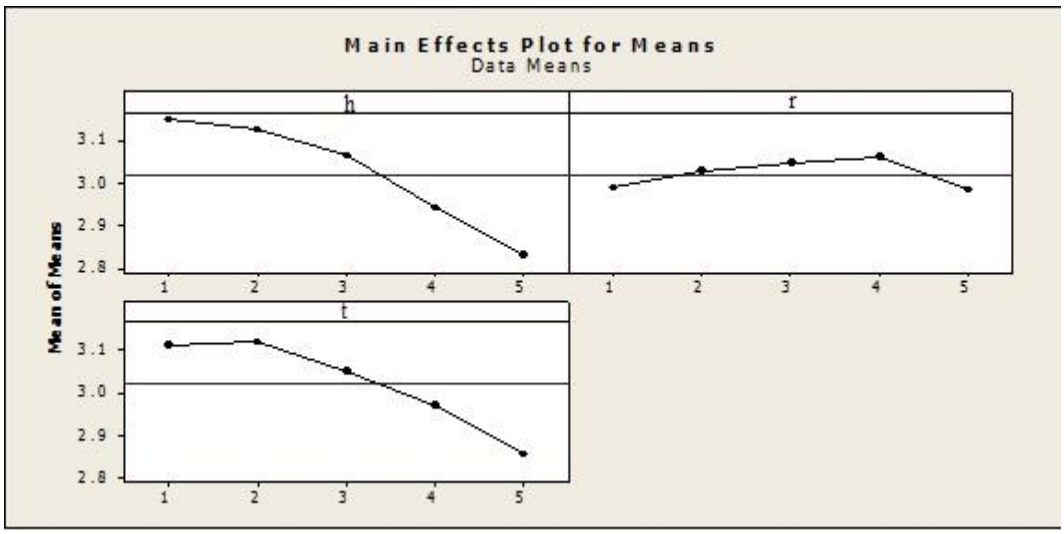


Ek- 10. (devam) Taguchi diagramları

Deformasyon üzerinde C yüzeyinden uygulanan basıncın etkisi (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)

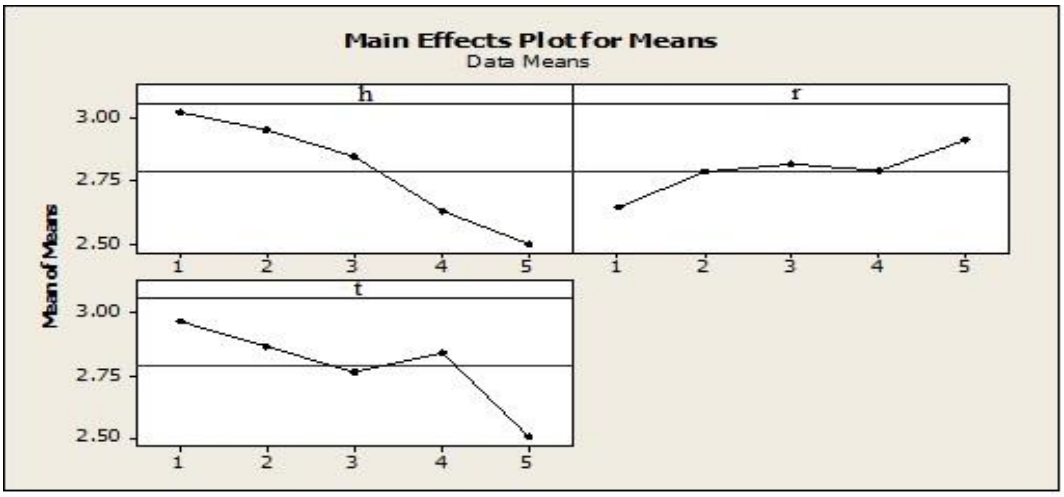


Deformasyon üzerinde C yüzeyinden uygulanan basıncın etkisi (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

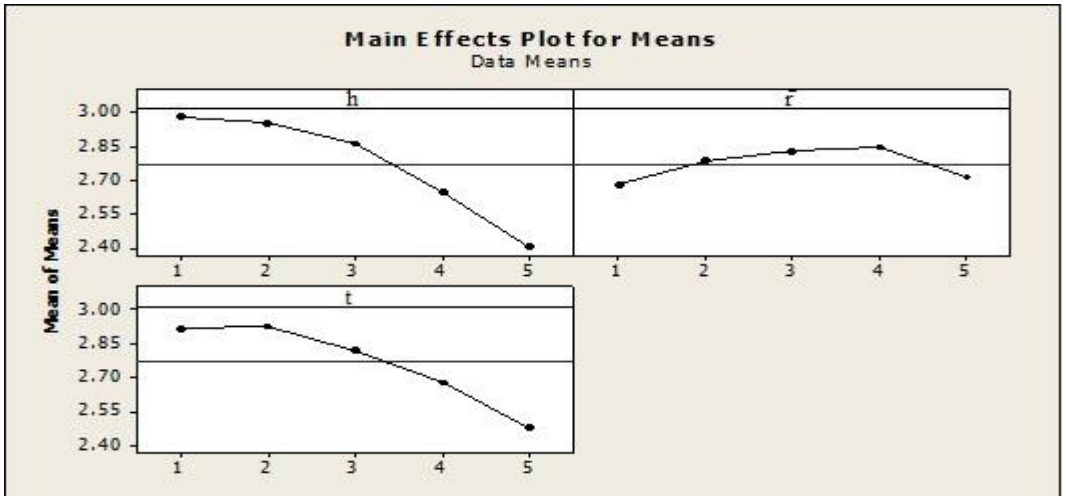


Ek- 10. (devam) Taguchi diagramları

Deformasyon üzerinde D yüzeyinden uygulanan basıncın etkisi (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)

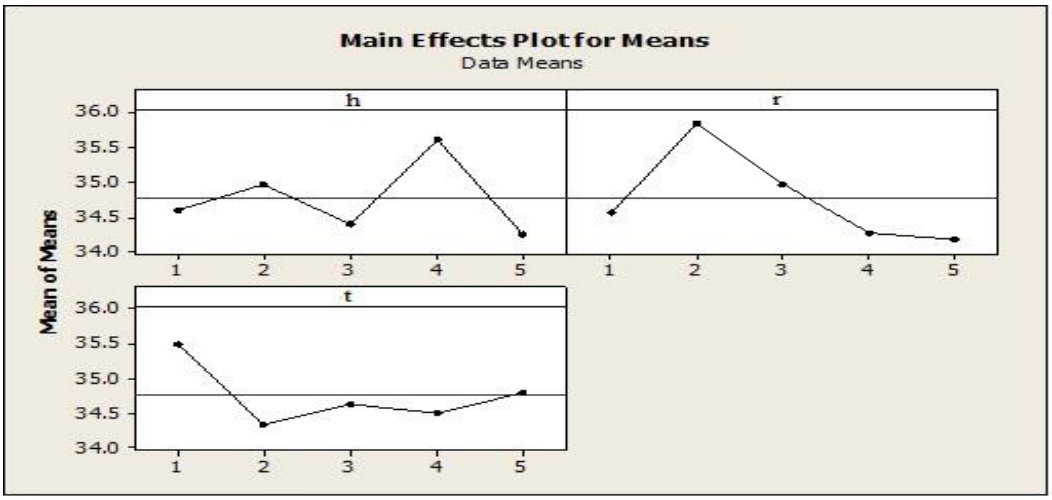


Deformasyon üzerinde D yüzeyinden uygulanan basıncın etkisi (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

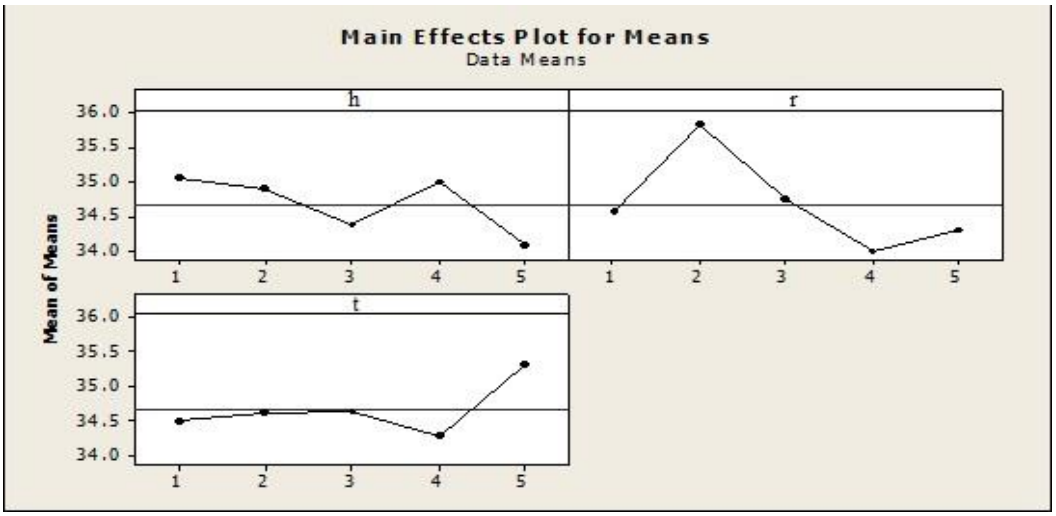


Ek- 10. (devam) Taguchi diagramları

A Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)

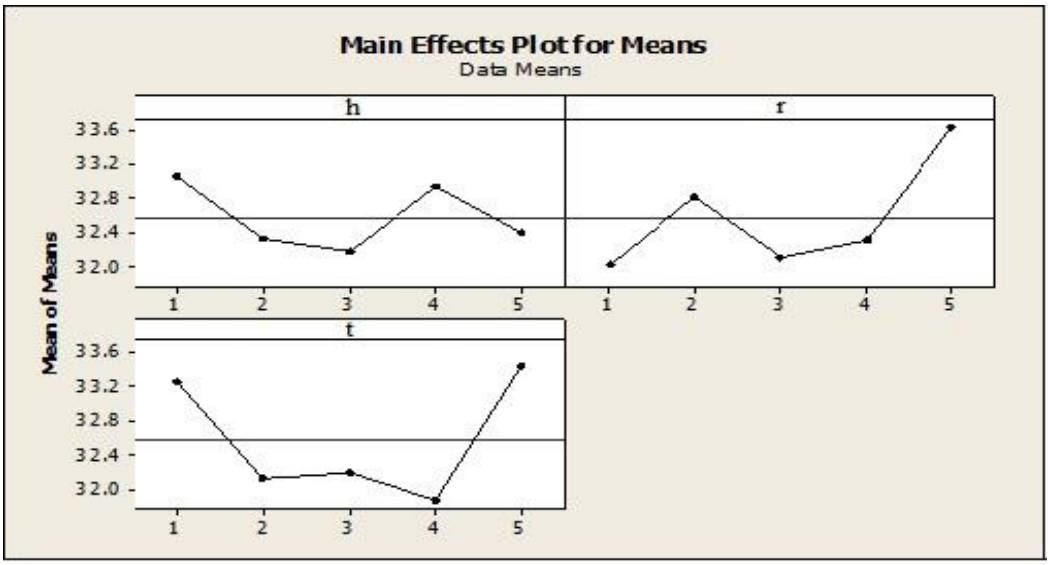


A Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

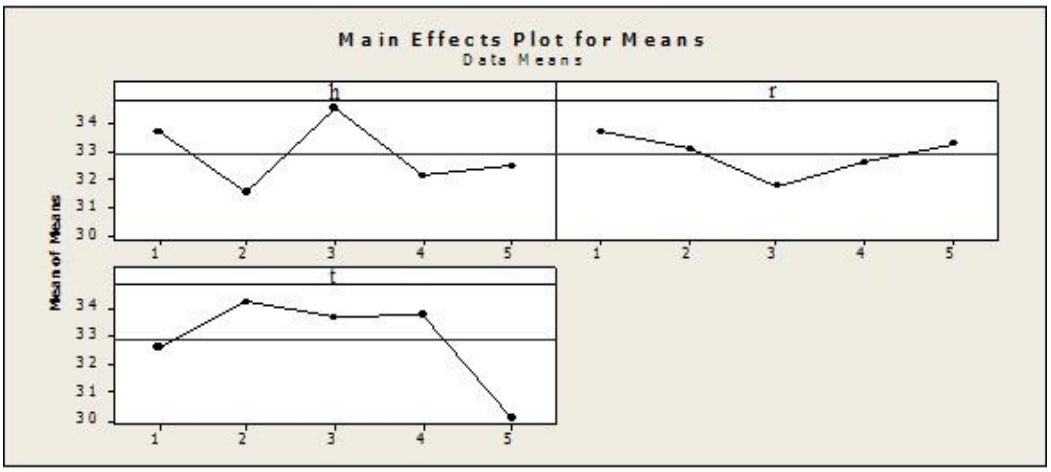


Ek- 10. (devam) Taguchi diagramları

B Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)

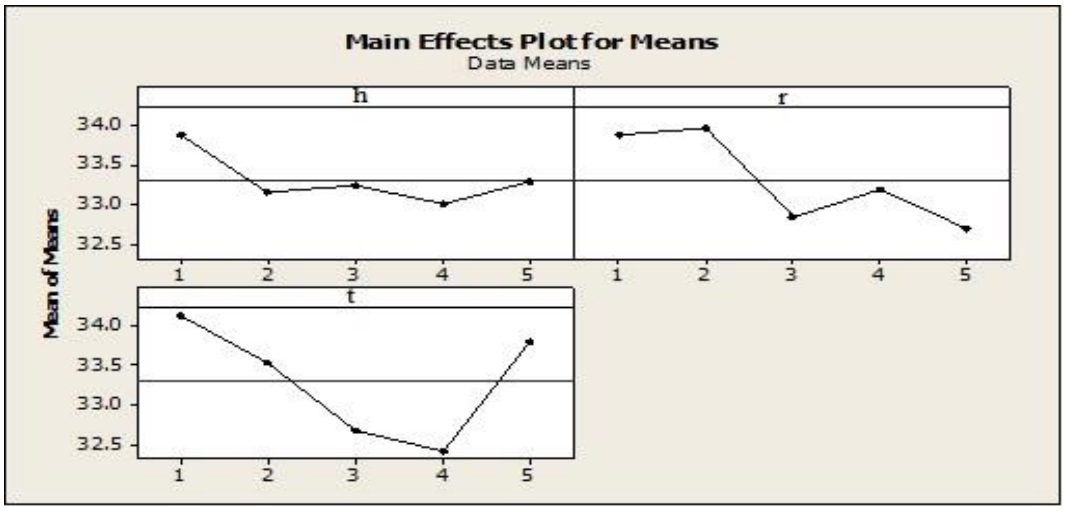


B Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

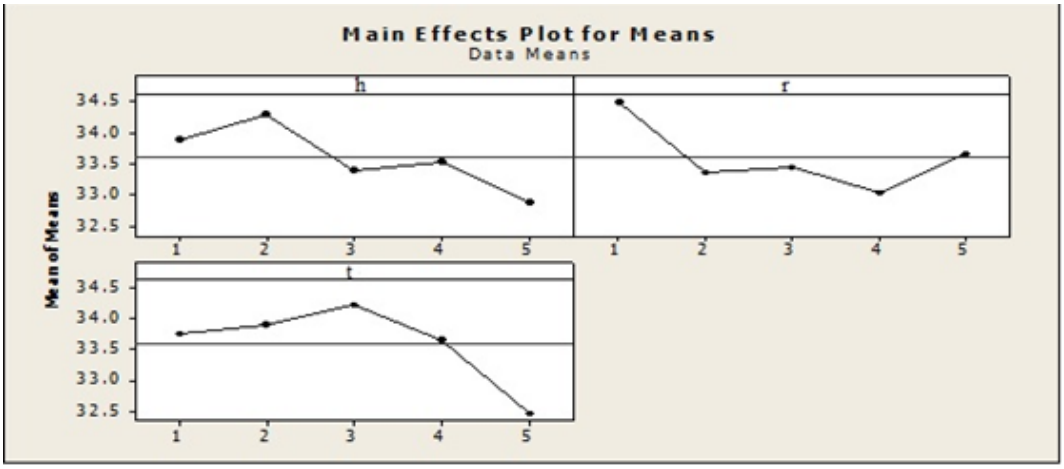


Ek- 10. (devam) Taguchi diagramları

C Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)

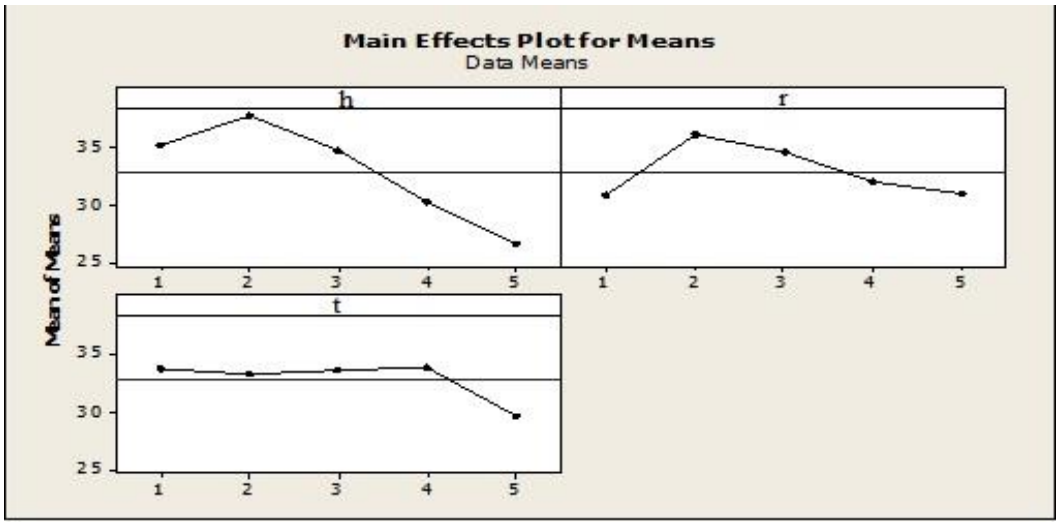


C Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)

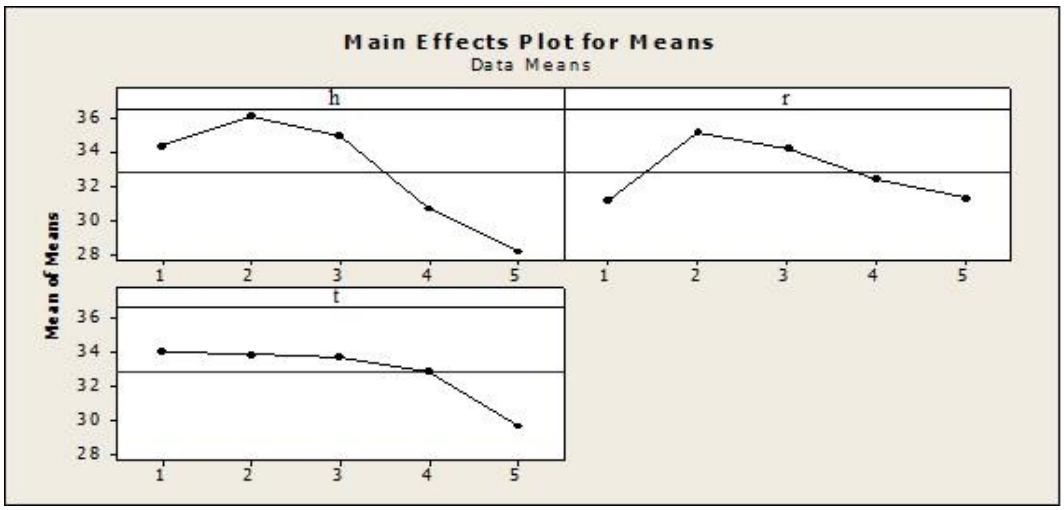


Ek- 10. (devam) Taguchi Diagramları

D Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 1˚ sabit tutulmaktadır)



D Yüzeyinden uygulanan basınca bağlı olarak oluşan gerilme miktarları (açı α = 2˚ sabit tutulmaktadır)



Ek- 11. Elde edilen deneylerin sonuçları

Parçanın parametreleri					A Yüzeyi	A Yüzeyi	B Yüzeyi	B Yüzeyi	C Yüzeyi	C Yüzeyi	D Yüzeyi	D Yüzeyi
	h-mm	r-mm	t-mm	α-°	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa
1	2	0,001	0,4	0,5	3,07	36,033	1,83	32,351	3,2	34,074	3,06	34,545
2	3	0,001	0,4	0,5	3,03	33,982	1,83	29,983	3,18	34,311	3,17	35,863
3	4,5	0,001	0,4	0,5	2,94	35,843	1,84	32,183	3,15	34,031	2,98	33,885
4	6,75	0,001	0,4	0,5	2,76	34,735	1,85	33,779	3,08	33,964	2,87	32,834
5	10,125	0,001	0,4	0,5	2,5	35,651	1,87	30,683	2,96	33,749	2,66	30,214
6	2	0,2	0,4	0,5	3,07	34,994	1,83	33,843	3,2	34,208	3,06	36,594
7	3	0,2	0,4	0,5	3,03	35,133	1,18	31,295	3,18	34,039	3,03	36,247
8	4,5	0,2	0,4	0,5	2,94	35,752	1,84	32,617	3,15	33,926	2,98	37,42
9	6,75	0,2	0,4	0,5	2,76	34,877	1,85	35,469	3,08	34,068	2,87	34,315
10	10,125	0,2	0,4	0,5	2,5	35,843	1,87	33,354	2,96	33,813	2,66	30,288
11	2	0,4	0,4	0,5	3,06	34,987	1,83	33,245	3,198	34,373	3,06	34,954
12	3	0,4	0,4	0,5	3,02	35,69	1,83	30,068	3,18	34,287	3,03	34,295
13	4,5	0,4	0,4	0,5	2,94	35,007	1,84	32,236	3,13	33,724	2,98	34,075
14	6,75	0,4	0,4	0,5	2,76	34,701	1,85	33,579	3,083	34,366	2,871	33,004
15	10,125	0,4	0,4	0,5	2,49	35,25	1,87	33,682	2,96	33,337	2,65	30,345
16	2	0,8	0,4	0,5	3,06	35,119	1,82	31,345	3,19	34,144	3,05	34,907
17	3	0,8	0,4	0,5	3,02	34,961	1,83	34,029	3,17	31,344	3,028	34,199
18	4,5	0,8	0,4	0,5	2,93	35,514	1,83	32,73	3,14	33,792	2,97	34,392
19	6,75	0,8	0,4	0,5	2,76	35,416	1,84	34,85	3,07	33,509	2,86	32,716
20	10,125	0,8	0,4	0,5	2,49	34,543	1,86	29,585	2,95	33,465	2,65	30,01
21	2	1,6	0,4	0,5	3,04	34,791	1,8	31,127	3,16	33,351	3,02	34,228
22	3	1,6	0,4	0,5	3	35,559	1,8	32,11	3,15	33,808	2,997	34,124
23	4,5	1,6	0,4	0,5	2,91	34,435	1,81	34,696	3,11	33,736	2,94	33,436
24	6,75	1,6	0,4	0,5	2,74	34,585	1,82	32,914	3,04	33,523	2,83	32,085
25	10,125	1,6	0,4	0,5	2,47	35,035	1,84	32,279	2,93	30,893	2,63	29,717
26	2	0,001	0,6	0,5	3,05	35,883	1,83	34,06	3,19	34,053	3,05	34,364
27	3	0,001	0,6	0,5	2,99	34,482	1,83	34,603	3,17	34,383	3,01	34,522
28	4,5	0,001	0,6	0,5	2,86	34,194	1,84	33,647	3,127	33,1	2,93	33,535
29	6,75	0,001	0,6	0,5	2,62	34,554	1,86	35,083	3,02	33,552	2,77	31,263
30	10,125	0,001	0,6	0,5	2,29	35,038	1,87	31,738	2,87	33,112	2,46	27,9
31	2	0,2	0,6	0,5	3,05	34,807	1,83	32,011	3,19	33,561	3,04	38,185
32	3	0,2	0,6	0,5	2,99	35,874	1,83	32,365	3,17	33,982	3,01	39,934
33	4,5	0,2	0,6	0,5	2,86	34,823	1,84	30,963	3,12	34,702	2,93	37,841
34	6,75	0,2	0,6	0,5	2,62	34,637	1,86	35,61	3,02	33,418	2,77	33,301
35	10,125	0,2	0,6	0,5	2,29	35,572	1,87	36,34	2,87	34,31	2,45	28,219
36	2	0,4	0,6	0,5	3,05	35,052	1,83	37,532	3,19	34,159	3,04	34,489
37	3	0,4	0,6	0,5	2,99	34,127	1,83	31,72	3,17	34,456	3,01	35,892
38	4,5	0,4	0,6	0,5	2,86	35,417	1,84	31,966	3,12	31,058	2,93	33,76
39	6,75	0,4	0,6	0,5	2,62	34,904	1,85	33,461	3,24	33,332	2,76	31,229
40	10,125	0,4	0,6	0,5	2,29	34,744	1,87	32,306	2,87	30,924	2,45	27,923
41	2	0,8	0,6	0,5	3,04	35,622	1,82	32,374	3,183	34,083	3,03	34,412
42	3	0,8	0,6	0,5	2,98	33,604	1,82	32,839	3,16	34,009	3	34,263
43	4,5	0,8	0,6	0,5	2,86	33,963	1,83	29,751	3,11	33,924	2,92	33,183
44	6,75	0,8	0,6	0,5	2,61	33,251	1,85	34,193	3,01	33,437	2,76	31,575
45	10,125	0,8	0,6	0,5	2,28	34,35	1,86	32,612	2,86	33,065	2,45	28,212
46	2	1,6	0,6	0,5	3,02	34,584	1,8	34,702	3,15	33,513	3	34,217
47	3	1,6	0,6	0,5	2,97	34,508	1,8	32,089	3,13	34,546	2,96	33,656
48	4,5	1,6	0,6	0,5	2,84	34,375	1,81	35,655	3,08	33,466	2,89	32,901
49	6,75	1,6	0,6	0,5	2,59	34,959	1,82	30,84	2,98	33,371	2,73	31,262
50	10,125	1,6	0,6	0,5	2,26	33,562	1,84	33,202	2,83	33,239	2,43	27,748
51	2	0,001	0,9	0,5	3,03	35,09	1,83	29,805	3,18	34,027	3,03	34,424
52	3	0,001	0,9	0,5	2,94	34,717	1,83	30,687	3,154	35,548	2,07	35,367
53	4,5	0,001	0,9	0,5	2,77	35,487	1,84	36,375	3,08	33,809	2,86	32,51
54	6,75	0,001	0,9	0,5	2,46	34,88	1,86	35,095	2,95	32,866	2,64	30,433
55	10,125	0,001	0,9	0,5	2,1	34,78	1,86	33,445	2,77	33,473	2,23	25,47
56	2	0,2	0,9	0,5	3,03	34,06	1,83	34,995	3,18	33,946	3,02	56,38
57	3	0,2	0,9	0,5	2,94	34,069	1,83	32,469	3,152	33,884	2,97	55,38
58	4,5	0,2	0,9	0,5	2,76	34,964	1,84	31,198	3,08	31,022	2,86	40,089
59	6,75	0,2	0,9	0,5	2,46	37,556	1,86	31,278	2,954	30,466	2,64	30,097
60	10,125	0,2	0,9	0,5	2,1	39,792	1,86	35,416	2,77	33,37	2,23	25,37

Ek- 11. (devam) Elde edilen deneylerin sonuçları

Parçanın parametreleri					A Yüzeyi	A Yüzeyi	B Yüzeyi	B Yüzeyi	C Yüzeyi	C Yüzeyi	D Yüzeyi	D Yüzeyi
	h-mm	r-mm	t-mm	α-°	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa
61	2	0,4	0,9	0,5	3,02	34,922	1,82	32,83	3,17	33,793	3,02	34,557
62	3	0,4	0,9	0,5	2,94	35,042	1,83	31,974	3,149	31,564	2,97	34,363
63	4,5	0,4	0,9	0,5	2,76	35,198	1,84	34,349	3,08	34,355	2,86	32,813
64	6,75	0,4	0,9	0,5	2,46	34,874	1,85	32,545	2,95	34,23	2,63	30,431
65	10,125	0,4	0,9	0,5	2,1	33,051	1,86	33,105	2,77	33,108	2,23	25,227
66	2	0,8	0,9	0,5	3,02	35,791	1,82	30,583	3,16	33,996	3,01	34,195
67	3	0,8	0,9	0,5	2,94	35,144	1,82	36,266	3,139	33,71	2,96	33,599
68	4,5	0,8	0,9	0,5	2,76	34,384	1,83	29,35	3,07	33,185	2,85	32,703
69	6,75	0,8	0,9	0,5	2,45	33,089	1,84	32,81	2,93	32,88	2,63	29,95
70	10,125	0,8	0,9	0,5	2,09	33,293	1,85	34,249	2,7	32,993	2,27	25,68
71	2	1,6	0,9	0,5	3	35,146	1,79	31,308	3,13	30,919	2,97	33,364
72	3	1,6	0,9	0,5	2,92	35,544	1,79	33,091	3,1	33,658	2,92	33,328
73	4,5	1,6	0,9	0,5	2,74	34,878	1,8	31,87	3,035	33,019	2,82	32,343
74	6,75	1,6	0,9	0,5	2,43	34,56	1,81	31,008	2,9	32,766	2,6	29,753
75	10,125	1,6	0,9	0,5	2,06	33,82	1,82	37,405	2,72	32,835	2,1	25,449
76	2	0,001	1,35	0,5	2,99	35,546	1,82	31,98	3,16	33,796	2,99	34,257
77	3	0,001	1,35	0,5	2,87	34,697	1,82	33,659	3,11	32,623	2,92	41,457
78	4,5	0,001	1,35	0,5	2,64	34,687	1,83	32,251	3,02	30,884	2,77	33,396
79	6,75	0,001	1,35	0,5	2,28	34,889	1,84	31,374	2,86	32,768	2,47	28,335
80	10,125	0,001	1,35	0,5	1,93	34,042	1,82	37,304	2,66	32,532	1,99	22,63
81	2	0,2	1,35	0,5	2,99	35,539	1,82	32,76	3,15	34,415	2,99	42,393
82	3	0,2	1,35	0,5	2,87	33,916	1,82	39,039	3,11	33,79	2,92	45,88
83	4,5	0,2	1,35	0,5	2,64	36,123	1,83	33,452	3,02	35,927	2,77	39,545
84	6,75	0,2	1,35	0,5	2,28	40,452	1,82	34,13	2,85	32,723	2,47	28,392
85	10,125	0,2	1,35	0,5	1,93	41,998	1,82	35,258	2,66	33,156	1,99	22,845
86	2	0,4	1,35	0,5	2,99	34,26	1,81	34,496	3,154	33,64	2,99	37,981
87	3	0,4	1,35	0,5	2,87	34,59	1,81	32,691	3,11	33,426	2,91	36,557
88	4,5	0,4	1,35	0,5	2,64	33,873	1,82	33,686	3,01	32,968	2,76	33,628
89	6,75	0,4	1,35	0,5	2,28	34,33	1,84	32,966	2,85	29,97	2,47	28,117
90	10,125	0,4	1,35	0,5	1,92	32,23	1,82	32,908	2,65	32,892	1,98	22,91
91	2	0,8	1,35	0,5	2,98	34,409	1,8	29,519	3,142	36,469	2,98	34,076
92	3	0,8	1,35	0,5	2,63	33,051	1,8	31,225	3,09	33,44	2,9	33,318
93	4,5	0,8	1,35	0,5	2,48	35,198	1,81	33,54	3	33,044	2,75	31,85
94	6,75	0,8	1,35	0,5	2,27	33,882	1,82	33,912	2,84	33,152	2,46	28,361
95	10,125	0,8	1,35	0,5	1,91	32,781	1,81	30,813	2,64	32,042	1,98	22,864
96	2	1,6	1,35	0,5	2,96	35,191	1,77	33,573	3,09	34,056	2,93	33,41
97	3	1,6	1,35	0,5	2,85	34,888	1,77	31,414	3,05	33,92	2,86	32,945
98	4,5	1,6	1,35	0,5	2,62	34,49	1,78	34,94	2,96	32,658	2,72	31,513
99	6,75	1,6	1,35	0,5	2,25	34,08	1,79	32,27	2,79	31,91	2,44	28,18
100	10,125	1,6	1,35	0,5	1,89	33,35	1,77	31,91	2,6	31,54	1,96	22,69
101	2	0,001	2,025	0,5	2,94	34,52	1,79	32,76	3,115	33,39	2,94	37,32
102	3	0,001	2,025	0,5	2,78	34,75	1,79	36,164	3,04	33,004	2,83	36,88
103	4,5	0,001	2,025	0,5	2,49	34,36	1,79	30,893	2,91	32,33	2,63	30,35
104	6,75	0,001	2,025	0,5	2,1	33,798	1,79	30,235	2,72	31,56	2,27	26,287
105	10,125	0,001	2,025	0,5	1,76	32,701	1,74	34,841	2,5	31,971	1,73	22,687
106	2	0,2	2,025	0,5	2,94	33,305	1,79	33,55	3,11	33,177	2,94	45,448
107	3	0,2	2,025	0,5	2,78	35,197	1,79	29,64	3,04	29,48	2,83	46,92
108	4,5	0,2	2,025	0,5	2,49	37,823	1,79	32,994	2,913	32,311	2,63	39,945
109	6,75	0,2	2,025	0,5	2,1	38,246	1,78	35,626	2,71	31,946	2,27	26,38
110	10,125	0,2	2,025	0,5	1,76	39,97	1,74	32,331	2,5	31,547	1,73	28,24
111	2	0,4	2,025	0,5	2,94	33,75	1,78	34,765	3,1	33,464	2,93	38,633
112	3	0,4	2,025	0,5	2,78	34,376	1,78	32,387	3,03	32,949	2,831	37,64
113	4,5	0,4	2,025	0,5	2,49	33,854	1,78	29,77	2,9	33,779	2,63	32,286
114	6,75	0,4	2,025	0,5	2,1	34,056	1,78	31,087	2,71	31,554	2,27	26,432
115	10,125	0,4	2,025	0,5	1,76	33,322	1,73	31,244	2,49	31,361	1,73	23,648
116	2	0,8	2,025	0,5	2,93	33,21	1,77	36,201	3,09	34,514	2,92	33,324
117	3	0,8	2,025	0,5	2,78	33,827	1,77	32,527	3,02	32,856	2,81	32,361
118	4,5	0,8	2,025	0,5	2,48	33,051	1,77	35,03	2,89	33,312	2,63	30,382
119	6,75	0,8	2,025	0,5	2,09	33,459	1,77	31,176	2,69	31,39	2,26	26,293
120	10,125	0,8	2,025	0,5	1,75	31,81	1,72	30,549	2,48	28,68	1,72	21,577
121	2	1,6	2,025	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
122	3	1,6	2,025	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0

Ek- 11. (devam) Elde edilen deneylerin sonuçları

Parçanın parametreleri					A Yüzeyi	A Yüzeyi	B Yüzeyi	B Yüzeyi	C Yüzeyi	C Yüzeyi	D Yüzeyi	D Yüzeyi
	h-mm	r-mm	t-mm	α-°	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa
123	4,5	1,6	2,025	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
124	6,75	1,6	2,025	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
125	10,125	1,6	2,025	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
126	2	0,001	0,4	1	3,07	35,741	1,83	35,931	3,2	34,451	3,06	35,012
127	3	0,001	0,4	1	3,03	35,07	1,83	33,771	3,19	34,182	3,04	34,716
128	4,5	0,001	0,4	1	2,96	35,522	1,84	33,089	3,16	34,001	2,99	34,02
129	6,75	0,001	0,4	1	2,83	34,86	1,85	34,714	3,11	31,228	2,96	33,222
130	10,125	0,001	0,4	1	2,69	35,434	1,86	29,884	3,05	33,961	2,82	32,047
131	2	0,2	0,4	1	3,07	35,802	1,83	34,248	3,2	34,348	3,06	35,769
132	3	0,2	0,4	1	3,03	34,917	1,83	31,61	3,18	34,366	3,042	37,751
133	4,5	0,2	0,4	1	2,96	34,136	1,84	34,609	3,16	34,397	2,99	38,049
134	6,75	0,2	0,4	1	2,83	34,431	1,85	35,903	3,11	33,768	3,91	35,53
135	10,125	0,2	0,4	1	2,69	35,58	1,86	32,156	3,05	33,931	2,82	31,71
136	2	0,4	0,4	1	3,07	35,526	1,83	31,966	3,18	33,851	3,06	34,776
137	3	0,4	0,4	1	3,03	36,007	1,83	34,44	3,17	34,644	3,04	34,749
138	4,5	0,4	0,4	1	2,96	35,046	1,83	34,002	3,16	34,726	2,99	33,712
139	6,75	0,4	0,4	1	2,83	35,774	1,84	33,675	3,11	33,898	2,91	33,331
140	10,125	0,4	0,4	1	2,69	35,174	1,86	38,25	3,05	35,285	2,81	32
141	2	0,8	0,4	1	3,06	35,517	1,83	34,706	3,19	34,218	3,05	34,647
142	3	0,8	0,4	1	3,03	35,0408	1,83	30,743	3,18	34,175	3,03	34,259
143	4,5	0,8	0,4	1	3,03	35,408	1,83	30,743	3,18	34,175	3,03	34,259
144	6,75	0,8	0,4	1	2,83	34,216	1,84	31,197	3,1	35,101	2,91	33,542
145	10,125	0,8	0,4	1	2,68	35,412	1,85	28,909	3,04	33,437	2,81	32,13
146	2	1,6	0,4	1	3,04	33,9	1,8	29,324	3,16	33,69	3,02	34,98
147	3	1,6	0,4	1	3,01	35,06	1,81	33,75	3,15	34,185	3	34,104
148	4,5	1,6	0,4	1	2,94	34,62	1,81	30,238	3,12	33,515	2,95	34,13
149	6,75	1,6	0,4	1	2,81	35,056	1,82	34,64	3,07	34,28	2,88	33,27
150	10,125	1,6	0,4	1	2,67	35,29	1,83	32,25	3,01	33,25	2,78	31,58
151	2	0,001	0,6	1	3,05	35,58	1,83	32,17	3,19	34,17	3,05	34,93
152	3	0,001	0,6	1	3	35,14	1,83	29,79	3,17	34,03	3,01	33,98
153	4,5	0,001	0,6	1	2,88	33,594	1,84	28,462	3,13	35,026	2,94	34,066
154	6,75	0,001	0,6	1	2,47	34,68	1,85	33,015	3,05	30,04	2,81	31,821
155	10,125	0,001	0,6	1	2,4	35,079	1,87	34,131	2,92	33,463	2,57	29,291
156	2	0,2	0,6	1	3,05	33,943	1,83	34,131	3,194	33,578	3,05	37,904
157	3	0,2	0,6	1	3	34,91	1,83	32,902	3,17	34,209	3,01	40,405
158	4,5	0,2	0,6	1	2,88	34,42	1,84	30,953	3,13	34,24	2,94	39,701
159	6,75	0,2	0,6	1	2,67	35,415	1,85	32,167	3,08	33,419	2,8	33,86
160	10,125	0,2	0,6	1	2,4	34,91	1,87	32,75	2,92	30,789	2,57	29,376
161	2	0,4	0,6	1	3,05	34,337	1,83	37,66	3,192	35,027	3	34,325
162	3	0,4	0,6	1	3	35,042	1,83	30,204	3,173	34,107	3,01	34,461
163	4,5	0,4	0,6	1	2,88	34,73	1,84	37,034	3,13	33,72	2,94	33,763
164	6,75	0,4	0,6	1	2,67	35,311	1,85	31,62	3,04	33,458	2,8	32
165	10,125	0,4	0,6	1	2,4	34,981	1,87	30,597	2,93	33,538	2,57	29
166	2	0,8	0,6	1	3,05	34,906	1,82	32,972	3,18	34,159	3,04	34,604
167	3	0,8	0,6	1	2,99	35,454	1,82	35,171	3,16	34,017	3	34,243
168	4,5	0,8	0,6	1	2,88	34,312	1,83	32,801	3,12	31,208	2,93	33,316
169	6,75	0,8	0,6	1	2,67	33,78	1,84	31,607	3,03	33,198	2,8	32,152
170	10,125	0,8	0,6	1	2,39	35,382	1,86	29,481	2,91	33,186	2,56	29,163
171	2	1,6	0,6	1	3,03	34,834	1,8	31,2	3,154	34,73	3	33,9
172	3	1,6	0,6	1	2,97	34,75	1,8	35,024	3,135	33,487	2,97	33,822
173	4,5	1,6	0,6	1	2,86	33,877	1,81	34,53	3,09	33,322	2,9	33,203
174	6,75	1,6	0,6	1	2,77	31,49	1,82	31,745	3	33,28	2,65	33,92
175	10,125	1,6	0,6	1	2,37	34,346	1,83	28,195	2,88	33,511	2,54	28,913
176	2	0,001	0,9	1	3,03	34,993	1,83	31,472	3,183	34,05	3,03	35,286
177	3	0,001	0,9	1	2,39	34,89	1,83	34,108	3,155	33,836	2,98	35,73
178	4,5	0,001	0,9	1	2,78	33,832	1,84	31,57	3,09	33,392	2,87	33,32
179	6,75	0,001	0,9	1	2,5	35,143	1,86	33,01	2,97	32,626	2,67	30,472
180	10,125	0,001	0,9	1	2,16	33,361	1,86	31,91	2,81	33,084	2,31	26,481
181	2	0,2	0,9	1	3,03	35,6	1,83	33,828	3,182	34,44	3,03	42,418
182	3	0,2	0,9	1	2,95	35,251	1,83	32,926	3,15	33,74	2,98	43,947
183	4,5	0,2	0,9	1	2,78	34,691	1,84	34,896	3,09	36,657	2,87	40,515
184	6,75	0,2	0,9	1	2,5	36,566	1,85	31,975	2,97	33,336	2,67	32,909

Ek- 11. (devam) Elde edilen deneylerin sonuçları

Parçanın parametreleri					A Yüzeyi	A Yüzeyi	B Yüzeyi	B Yüzeyi	C Yüzeyi	C Yüzeyi	D Yüzeyi	D Yüzeyi
	h-mm	r-mm	t-mm	α-°	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa
185	10,125	0,2	0,9	1	2,16	38,869	1,86	38,628	2,8	34,43	2,31	26,536
186	2	0,4	0,9	1	3,03	35,42	1,82	29,833	3,17	33,905	3,02	34,155
187	3	0,4	0,9	1	2,95	35,263	1,83	30,912	3,15	33,81	2,97	33,9
188	4,5	0,4	0,9	1	2,78	35,212	1,83	30,68	3,087	33,431	2,87	32,99
189	6,75	0,4	0,9	1	2,49	34,279	1,85	32,09	2,96	36,205	2,67	30,306
190	10,125	0,4	0,9	1	2,16	33,325	1,86	32,023	2,8	33,48	2,31	26,389
191	2	0,8	0,9	1	3,02	35,516	1,82	33,31	3,16	31,859	3,01	34,31
192	3	0,8	0,9	1	2,94	35,42	1,82	33,258	3,14	34,12	2,96	33,74
193	4,5	0,8	0,9	1	2,77	34,5	1,83	31,84	3,07	33,63	2,86	32,57
194	6,75	0,8	0,9	1	2,49	34,82	1,84	31,075	2,95	33,05	2,66	30,61
195	10,125	0,8	0,9	1	2,15	34,057	1,85	33,702	2,79	32,22	2,31	26,519
196	2	1,6	0,9	1	3	34,56	1,79	31,411	3,13	42,358	2,98	33,94
197	3	1,6	0,9	1	2,92	35,258	1,79	29,582	3,1	31,164	2,93	33,505
198	4,5	1,6	0,9	1	2,76	35,02	1,83	32,589	3,04	32,974	2,83	32,253
199	6,75	1,6	0,9	1	2,47	34,685	1,81	32,914	2,92	30,165	2,63	30,13
200	10,125	1,6	0,9	1	2,13	33,905	1,82	29,054	2,75	32,58	2,29	26,254
201	2	0,001	1,35	1	2,99	35,01	1,82	37,041	3,16	33,913	2,99	34,45
202	3	0,001	1,35	1	2,88	33,808	1,82	34,258	3,11	33,486	2,92	33,246
203	4,5	0,001	1,35	1	2,66	34,46	1,83	32,469	3,02	33,098	2,78	36,15
204	6,75	0,001	1,35	1	2,31	34,8	1,84	31,301	2,87	32,59	2,5	28,718
205	10,125	0,001	1,35	1	1,96	33,857	1,83	35,561	2,68	32,398	2,04	23,504
206	2	0,2	1,35	1	2,99	35,41	1,81	33,891	3,15	33,584	2,99	43,529
207	3	0,2	1,35	1	2,88	34,492	1,82	31,74	3,11	34,388	2,95	45,261
208	4,5	0,2	1,35	1	2,65	35,349	1,83	29,667	3,02	33,32	2,78	39,785
209	6,75	0,2	1,35	1	2,31	38,29	1,84	32,61	2,87	32,69	2,5	28,744
210	10,125	0,2	1,35	1	1,96	40,547	1,83	31,57	2,49	33,854	2,04	23,635
211	2	0,4	1,35	1	2,99	35,233	1,81	34,185	3,15	33,662	2,99	37,882
212	3	0,4	1,35	1	2,88	35,209	1,81	32,05	3,11	30,929	2,92	43,481
213	4,5	0,4	1,35	1	2,65	34,884	1,82	29,547	3,02	34,772	2,77	31,959
214	6,75	0,4	1,35	1	2,31	33,88	1,84	32,684	2,86	32,505	2,5	28,542
215	10,125	0,4	1,35	1	1,96	34,485	1,82	33,166	2,68	32,552	2,04	23,407
216	2	0,8	1,35	1	2,99	33,881	1,8	32,396	3,143	33,485	2,98	34,108
217	3	0,8	1,35	1	2,87	34,124	1,8	30,349	3,1	33,354	2,91	33,668
218	4,5	0,8	1,35	1	2,65	33,442	1,81	32,031	3,01	30,478	2,76	31,797
219	6,75	0,8	1,35	1	2,3	34,506	1,83	33,939	2,85	32,728	2,49	28,902
220	10,125	0,8	1,35	1	1,95	34,201	1,81	31,91	2,66	33,55	2,04	23,291
221	2	1,6	1,35	1	2,97	34,549	1,77	32,38	3,1	33,816	2,94	33,711
222	3	1,6	1,35	1	2,85	34,258	1,77	34,511	3,05	34,118	2,87	32,753
223	4,5	1,6	1,35	1	2,63	33,07	1,78	31,616	2,96	32,56	2,73	31,68
224	6,75	1,6	1,35	1	2,28	33,42	1,79	32,99	2,81	32,71	2,46	28,28
225	10,125	1,6	1,35	1	1,92	33,308	1,78	33,963	2,62	31,803	2,02	23,198
226	2	0,001	2,025	1	2,94	35,182	1,79	26,3	3,11	31,077	2,94	33,933
227	3	0,001	2,025	1	2,79	34,602	1,79	32,181	3,049	33,575	2,84	32,456
228	4,5	0,001	2,025	1	2,5	34,433	1,79	33,726	2,92	32,255	2,64	3,0555
229	6,75	0,001	2,025	1	2,12	32,082	1,79	31,544	2,73	31,9	2,29	26,926
230	10,125	0,001	2,025	1	1,78	33,304	1,75	31,526	2,52	34,957	1,77	22,77
231	2	0,2	2,025	1	2,94	33,678	1,79	29,122	3,11	36,476	2,94	47,164
232	3	0,2	2,025	1	2,79	34,163	1,79	32,942	3,04	33,676	2,83	45,227
233	4,5	0,2	2,025	1	2,5	37,257	1,79	28,285	2,92	32,242	2,64	39,521
234	6,75	0,2	2,025	1	2,12	39,087	1,79	35,194	2,72	31,458	2,29	26,738
235	10,125	0,2	2,025	1	1,78	40,698	1,75	36,159	2,52	33,578	1,77	28,097
236	2	0,4	2,025	1	2,94	34,208	1,79	35,187	3,1	33,164	2,93	37,811
237	3	0,4	2,025	1	2,78	34,98	1,78	30,613	3,04	33,053	2,83	37,559
238	4,5	0,4	2,025	1	2,5	33,44	1,79	34,384	2,91	31,986	2,64	32,398
239	6,75	0,4	2,025	1	2,11	33,751	1,78	35,28	2,72	31,863	2,29	26,388
240	10,125	0,4	2,025	1	1,78	33,438	1,74	36,553	2,51	31,995	1,77	22,31
241	2	0,8	2,025	1	2,94	34,999	1,77	34,468	3,09	33,107	2,92	33,342
242	3	0,8	2,025	1	2,78	34,175	1,77	33,145	3,02	32,88	2,83	32,567
243	4,5	0,8	2,025	1	2,49	34,451	1,77	33,325	2,89	31,997	2,63	30,537
244	6,75	0,8	2,025	1	2,11	33,974	1,77	29,055	2,7	31,811	2,28	26,921
245	10,125	0,8	2,025	1	1,77	33,227	1,73	32,66	2,5	31,431	1,76	21,698
246	2	1,6	2,025	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Ek- 11. (devam) Elde edilen deneylerin sonuçlari

Parçanın parametreleri					A Yüzeyi	A Yüzeyi	B Yüzeyi	B Yüzeyi	C Yüzeyi	C Yüzeyi	D Yüzeyi	D Yüzeyi
	h-mm	r-mm	t-mm	α-°	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa
247	3	1,6	2,025	1	0	0	0	0	0	0	0	0
248	4,5	1,6	2,025	1	0	0	0	0	0	0	0	0
249	6,75	1,6	2,025	1	0	0	0	0	0	0	0	0
250	10,125	1,6	2,025	1	0	0	0	0	0	0	0	0
251	2	0,001	0,4	2	3,05	35,585	1,83	32,866	3,2	34,341	3,07	35,702
252	3	0,001	0,4	2	3,05	34,933	1,83	28,696	3,19	33,719	3,05	34,531
253	4,5	0,001	0,4	2	3,01	34,86	1,83	32,709	3,18	33,945	3,02	34,444
254	6,75	0,001	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
255	10,125	0,001	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
256	2	0,2	0,4	2	3,07	34,998	1,83	36,831	3,2	34,133	3,06	34,802
257	3	0,2	0,4	2	3,05	35,52	1,83	32,279	3,19	34,285	3,05	36,514
258	4,5	0,2	0,4	2	3,01	35,731	1,83	33,901	3,18	34,237	3,02	37,505
259	6,75	0,2	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
260	10,125	0,2	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
261	2	0,4	0,4	2	3,07	35,046	1,83	30,38	3,2	34,161	3,06	35,109
262	3	0,4	0,4	2	3,04	35,566	1,83	30,525	3,19	34,404	3,04	34,57
263	4,5	0,4	0,4	2	3,01	35,028	1,83	31,294	3,17	34,024	3,02	34,437
264	6,75	0,4	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
265	10,125	0,4	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
266	2	0,8	0,4	2	3,07	34,032	1,82	30,003	3,19	34,355	3,05	35,171
267	3	0,8	0,4	2	3,04	34,929	1,83	31,849	3,18	37,811	3,04	34,653
268	4,5	0,8	0,4	2	3	33,741	1,83	32,729	3,17	31,268	3,01	34,451
269	6,75	0,8	0,4	2	0	0	0	0	0	0		0
270	10,125	0,8	0,4	2	0	0	0	0	0	0		0
271	2	1,6	0,4	2	3,05	34,589	1,81	33,655	3,16	33,712	3,02	34,765
272	3	1,6	0,4	2	3,02	33,958	1,81	31,816	3,16	35,905	3,01	34,378
273	4,5	1,6	0,4	2	2,98	35,675	1,81	31,882	3,14	33,982	2,98	33,733
274	6,75	1,6	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
275	10,125	1,6	0,4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
276	2	0,001	0,6	2	3,05	36,017	1,83	30,563	3,19	33,807	3,05	34,372
277	3	0,001	0,6	2	3,01	35,675	1,83	30,725	3,18	34,41	3,02	35,458
278	4,5	0,001	0,6	2	2,92	35,422	1,84	30,272	3,14	34,08	2,97	34,563
279	6,75	0,001	0,6	2	2,8	34,754	1,84	35,163	3,1	33,863	2,89	32,999
280	10,125	0,001	0,6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
281	2	0,2	0,6	2	3,05	35,585	1,83	33,266	3,19	34,092	3,05	39,005
282	3	0,2	0,6	2	3,01	35,604	1,83	30,007	3,17	33,843	3,02	40,161
283	4,5	0,2	0,6	2	2,92	35,643	1,84	31,879	3,14	32,496	2,97	41,351
284	6,75	0,2	0,6	2	2,8	35,432	1,84	29,699	3,1	33,751	2,89	37,487
285	10,125	0,2	0,6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
286	2	0,4	0,6	2	3,05	35,588	1,83	31,729	3,19	34,414	3,05	34,721
287	3	0,4	0,6	2	3,01	34,17	1,83	33,71	3,17	34,78	3,02	34,408
288	4,5	0,4	0,6	2	2,92	35,527	1,83	31,197	3,14	33,722	2,97	33,543
289	6,75	0,4	0,6	2	2,8	35,253	1,84	32,319	3,09	33,826	2,89	33,118
290	10,125	0,4	0,6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
291	2	0,8	0,6	2	3,05	35,288	1,82	35,749	3,18	33,41	3,04	34,399
292	3	0,8	0,6	2	3	35,641	1,87	31,308	3,17	33,775	3,01	33,933
293	4,5	0,8	0,6	2	2,92	34,933	1,83	34,829	3,13	34,574	2,96	33,447
294	6,75	0,8	0,6	2	2,79	33,098	1,84	35,023	3,09	33,712	2,88	32,784
295	10,125	0,8	0,6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
296	2	1,6	0,6	2	3,03	35,444	1,8	30,048	3,156	33,929	3,01	34,236
297	3	1,6	0,6	2	2,99	34,878	1,8	32,931	3,14	33,728	2,98	33,89
298	4,5	1,6	0,6	2	2,9	34,711	1,81	35,733	3,11	33,62	2,93	33,503
299	6,75	1,6	0,6	2	2,78	34,53	1,81	30,476	3,06	33,381	2,86	32,469
300	10,125	1,6	0,6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
301	2	0,001	0,9	2	2,99	34,878	1,8	32,931	3,14	33,728	2,98	33,894
302	3	0,001	0,9	2	2,96	34,726	1,83	35,413	3,15	33,987	2,98	35,247
303	4,5	0,001	0,9	2	2,82	34,777	1,84	41,91	3,1	36,613	2,9	33,126
304	6,75	0,001	0,9	2	2,58	35,009	1,85	30,294	3,01	33,302	2,74	30,994
305	10,125	0,001	0,9	2	2,34	33,51	1,86	29,76	2,89	33,182	2,52	28,797
306	2	0,2	0,9	2	3,03	35,268	1,83	30,545	3,18	34,189	3,03	40,724
307	3	0,2	0,9	2	2,96	34,914	1,83	32,238	3,15	34,098	2,98	41,426
308	4,5	0,2	0,9	2	2,81	35,291	1,84	31,784	3,1	33,504	2,89	40,888

Ek- 11. (devam) Elde edilen deneylerin sonuçları

Parçanın parametreleri					A Yüzeyi	A Yüzeyi	B Yüzeyi	B Yüzeyi	C Yüzeyi	C Yüzeyi	D Yüzeyi	D Yüzeyi
	h- mm	r-mm	t-mm	α- °	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa
309	6,75	0,2	0,9	2	2,58	35,465	1,85	29,988	2,58	35,465	2,74	33,274
310	10,125	0,2	0,9	2	2,34	37,927	1,86	36,767	2,89	33,425	2,52	28,836
311	2	0,4	0,9	2	3,3	35,548	1,82	32,72	3,18	33,767	3,03	34,471
312	3	0,4	0,9	2	2,96	35,412	1,83	32,402	3,15	34,203	2,98	34,421
313	4,5	0,4	0,9	2	2,81	35,213	1,83	31,18	2,81	35,213	2,89	33,029
314	6,75	0,4	0,9	2	2,58	34,995	1,85	33,475	3	33,447	2,74	31,407
315	10,125	0,4	0,9	2	2,34	35,316	1,84	33,644	2,89	33,136	2,52	28,517
316	2	0,8	0,9	2	3,02	35,471	1,82	33,364	3,17	34,25	3,02	34,495
317	3	0,8	0,9	2	2,95	35,452	1,82	29,161	3,14	33,072	1,82	29,161
318	4,5	0,8	0,9	2	2,81	35,173	1,83	31,888	3,09	33,727	2,88	32,99
319	6,75	0,8	0,9	2	2,58	35,117	1,84	34,125	2,99	33,272	2,73	30,992
320	10,125	0,8	0,9	2	2,33	33,714	1,85	31,403	2,88	33,509	2,51	28,69
321	2	1,6	0,9	2	3,01	34,694	1,79	31,643	3,13	31,072	2,98	33,786
322	3	1,6	0,9	2	2,93	35,539	1,79	32,255	3,11	33,575	2,94	33,431
323	4,5	1,6	0,9	2	2,79	35,023	1,8	31,982	3,05	34,746	2,85	32,903
324	6,75	1,6	0,9	2	2,56	34,26	1,81	30,109	2,96	33,096	2,7	31,032
325	10,125	1,6	0,9	2	2,31	33,285	1,82	33,76	2,85	32,739	2,48	28,68
326	2	0,001	1,35	2	3	34,901	1,82	33	3,16	33,88	3	34,693
327	3	0,001	1,35	2	2,89	35,418	1,82	32,799	3,12	31,531	2,93	39,927
328	4,5	0,001	1,35	2	2,68	34,337	1,83	30,609	3,04	33,122	2,8	35,737
329	6,75	0,001	1,35	2	2,37	33,238	1,84	33,552	2,9	35,464	2,56	29,359
330	10,125	0,001	1,35	2	2,05	32,681	1,84	30,386	2,74	32,638	2,18	24,88
331	2	0,2	1,35	2	3	35,528	1,82	32,849	3,16	34,053	3	43,163
332	3	0,2	1,35	2	2,89	34,604	1,82	30,928	3,12	34,379	2,93	44,172
333	4,5	0,2	1,35	2	2,68	34,828	1,83	34,207	3,03	33,2	2,8	39,548
334	6,75	0,2	1,35	2	2,37	35,922	1,84	30,315	2,9	32,829	2,55	29,957
335	10,125	0,2	1,35	2	2,05	39,026	1,84	35,493	2,73	32,662	2,18	25,118
336	2	0,4	1,35	2	2,99	34,222	1,81	32,191	3,15	34,203	2,99	35,946
337	3	0,4	1,35	2	2,89	35,059	1,82	32,122	3,11	33,919	2,92	36,779
338	4,5	0,4	1,35	2	2,68	34,914	1,82	31,875	3,03	32,291	2,79	32,533
339	6,75	0,4	1,35	2	2,36	33,926	1,84	31,582	2,89	30,562	2,55	29,129
340	10,125	0,4	1,35	2	2,04	32,967	1,84	31,575	2,73	32,39	2,18	24,86
341	2	0,8	1,35	2	2,99	34,452	1,8	33,077	3,14	33,565	2,98	33,907
342	3	0,8	1,35	2	2,88	33,881	1,81	30,666	3,1	33,16	2,91	33,222
343	4,5	0,8	1,35	2	2,68	34,849	1,81	30,202	3,02	30,656	2,78	31,928
344	6,75	0,8	1,35	2	2,36	34,468	1,83	33,976	2,88	32,794	2,54	29,07
345	10,125	0,8	1,35	2	2,04	33,879	1,83	31,698	2,72	30,454	2,17	24,659
346	2	1,6	1,35	2	2,97	33,93	1,77	31,431	3,1	33,165	2,94	33,986
347	3	1,6	1,35	2	3,06	33,324	1,77	33,535	2,87	34,305	2,88	32,72
348	4,5	1,6	1,35	2	2,66	34,73	1,78	31,904	2,98	32,453	2,75	31,556
349	6,75	1,6	1,35	2	3,07	34,998	1,79	33,37	2,84	31,971	2,52	29,4
350	10,125	1,6	1,35	2	2,01	33,866	1,79	35,887	2,68	32,054	2,15	24,725
351	2	0,001	2,025	2	2,95	34,787	1,77	31,431	3,11	33,569	2,94	33,795
352	3	0,001	2,025	2	2,8	34,042	1,79	31,576	3,05	33,113	3,02	34,408
353	4,5	0,001	2,025	2	2,52	34,591	1,8	32,682	2,93	29,857	2,66	32,384
354	6,75	0,001	2,025	2	2,16	33,905	1,8	30,558	2,75	32,608	2,33	27,345
355	10,125	0,001	2,025	2	1,83	33,569	1,77	29,425	2,56	31,599	1,85	21,84
356	2	0,2	2,025	2	2,95	34,495	1,79	30,899	3,11	33,645	2,94	46,271
357	3	0,2	2,025	2	2,8	34,599	1,79	29,609	3,05	32,819	2,84	45,475
358	4,5	0,2	2,025	2	2,52	35,179	1,79	32,136	2,93	32,59	2,66	39,774
359	6,75	0,2	2,025	2	2,15	39,701	1,79	29,239	2,75	31,76	2,33	27,335
360	10,125	0,2	2,025	2	1,83	39,83	1,76	31,287	2,56	31,789	1,85	23,301
361	2	0,4	2,025	2	2,94	34,49	1,79	29,534	3,11	33,253	2,94	38,584
362	3	0,4	2,025	2	2,79	34,923	1,78	34,603	3,04	32,846	2,84	37,554
363	4,5	0,4	2,025	2	2,52	33,777	1,79	28,217	2,92	32,301	2,65	34,092
364	6,75	0,4	2,025	2	2,15	33,678	1,79	34,218	2,74	31,632	2,33	27,034
365	10,125	0,4	2,025	2	1,82	32,909	1,76	32,254	2,55	31,619	1,85	21,75
366	2	0,8	2,025	2	2,94	35,049	1,77	32,373	3,09	33,263	2,97	33,28
367	3	0,8	2,025	2	2,79	34,868	1,77	30,808	3,04	33,122	2,82	32,388
368	4,5	0,8	2,025	2	2,52	34,451	1,78	31,68	3,04	33,122	2,8	35,737
369	6,75	0,8	2,025	2	2,14	32,737	1,78	34,472	2,73	32,42	2,32	27,047
370	10,125	0,8	2,025	2	1,81	33,565	1,75	31,078	2,54	31,514	1,85	21,735

Ek- 11. (devam) Elde edilen deneylerin sonuçlari

Parçanın parametreleri					A Yüzeyi	A Yüzeyi	B Yüzeyi	B Yüzeyi	C Yüzeyi	C Yüzeyi	D Yüzeyi	D Yüzeyi
	h-mm	t-mm	t-mm	α-°	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa	Deformasyon. mm	Gerilme. MPa
371	2	1,6	2,025	2	0	0	0	0	0	0	0	0
372	3	1,6	2,025	2	0	0	0	0	0	0	0	0
373	4,5	1,6	2,025	2	0	0	0	0	0	0	0	0
374	6,75	1,6	2,025	2	0	0	0	0	0	0	0	0
375	10,125	1,6	2,025	2	0	0	0	0	0	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : KHAKZAD, Farnoud

Uyruğu : İRAN

Doğum tarihi ve yeri : 20/10/1985, KHOY

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0535 020 1696

e-mail : farnoudkhakzad@yahoo.com

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/İleri teknolojiler	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	İran İslam Azad Üniversitesi	2009

Yabancı Dil

İngilizce, Türkçe, Farsça, Azerbaycan,

Yayınlar

-

Hobiler

Kitap okumak, Müzik dinlemek

.



GAZİ GELECEKTİR..