



Plastik Parçalarda Federin Gerilmeler Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Abdulmecit GÜLDAŞ¹, Mehmet ALTUĞ^{2*}, Farnoud KHAKZAD³

¹İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Malatya OSB MYO, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

³Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Abdulmecit GÜLDAŞ ORCID No: 0000-0002-1865-2272

Mehmet ALTUĞ ORCID No: 0000-0002-4745-9164

Farnoud KHAKZAD ORCID No: 0000-0001-6530-6148

*Sorumlu Yazar: mehmet.altug@inonu.edu.tr

(Alınış: 09.02.2021, Kabul: 18.08.2021, Online Yayınlanma: 31.12.2021)

Anahtar Kelimeler
 Polimer,
 Feder,
 Gerilme,
 Ansys

Öz: Bu çalışma, federlerin polimer parçada oluşan gerilmeler üzerine etkilerini incelenmiştir. Feder parametresi olarak birbirinden farklı 3 federin açısı, birbirinden farklı 5 feder yüksekliği, birbirinden farklı 5 feder kalınlığı, ve birbirinden farklı 5 federlerin dip yarıçapı belirlenmiştir. Bu değerlerle tasarımı yapılan parçanın mukavemet analizi Ansys yazılımında yapılmıştır. Tasarlanan feder ile A yüzeyinden uygulanan basınçta en düşük gerilme 31,49 MPa ve parçanın gerilme oranının %10 azaldığı tespit edildi. B yüzeyinden uygulanan basınçta en düşük gerilme 26.3 MPa ve parçanın gerilme oranının %25 azaldığı tespit edildi. C yüzeyinden uygulanan basınçta en düşük gerilme 28,21 MPa ve parçanın gerilme oranının %18 azaldığı tespit edildi. D yüzeyinden uygulanan basınçta en düşük gerilme 21,57 MPa ve parçanın gerilme oranının %39 azaldığı tespit edildi.

75

Investigation Of Rib Effects On Strength In Polimer Part

Keywords
 Polymer,
 Rib,
 Strength,
 Ansys

Abstract: In this study, the effects of ribs on the stresses formed in the polymer part were investigated. The angles of 3 different ribs, 5 different rib heights, 5 different rib thicknesses, and the bottom radius of 5 different ribs were determined as the rib parameter. The strength analysis of the part designed with these values was made in Ansys software. With the designed rib, it was determined that the lowest stress was 31.49 MPa and the stress ratio of the part decreased by 10% at the pressure applied from the A surface. It was determined that the lowest stress was 26.3 MPa under the applied pressure from the B surface and the stress ratio of the part decreased by 25%. It was determined that the lowest stress was 28.21 MPa under the applied pressure from the C surface, and the stress ratio of the part decreased by 18%. It was determined that the lowest stress was 21.57 MPa and the stress ratio of the part decreased by 39% at the pressure applied from the D surface.

1. GİRİŞ

Plastik parçaların imalatında en yaygın olarak kullanılan plastik türü polietilen ve polipropilen malzemesidir. Şekillendirme ve kalıplanabilirliğinin kolay olması, yoğunluğunun en düşük plastik türlerinden bir olması, maliyetinin düşük olması, kimyasallara karşı dirençli olması, istenilen renkte üretilebilmesi, elektrik direncinin yüksek olması, ısı iletim katsayısının düşük olması, mekanik özelliklerinin iyi olması vb özelliklerinden dolayı polipropilen malzemesi bu çalışma kapsamında seçilmiştir.

Polimer malzemelerde fonksiyonelliğe etki etmeden mukavemeti artırmak için feder yapılar kullanılmaktadır. Bu feder yapıları vasıtasıyla plastik parçanın kalınlığını artırmadan parçanın mukavemetini artırmak mümkündür. Feder yapıları ayrıca parça üzerindeki gerilmeleri de en aza indirerek deformasyonu önleyebilmektedir.

Guo vd. [1] çalışmasında, plastik enjeksiyon kalıplamada polimer malzemedeki federde; kalınlık incelidikçe, düşük erime ve soğutucu sıcaklığında daha az çökme olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bazı araştırmacılar [2,3] enjeksiyon kalıp yapılarının eğilmesini ve buna ek olarak

termoplastik polimerlerin üretiminde gerçekleşen enjeksiyonların çökme indeksini en aza indirmek konusunda Taguchi optimizasyon yöntemi ile bir çalışmalar gerçekleştirmiştir. James vd. [4] makalesinde; Interspar federlerine sahip olan kanatın brazier yükü karşısında davranışı sonlu eleman metoduyla incelenmiştir. Feder içinde bulunan deliklerin çevresindeki kıvrım ve köşebentlerinin değişimi mukavemeti daha yüksek bir feder oluşumu elde edilmiştir. Salimi vd. [5] çalışmalarında çevresel feder ile güçlendirilmiş kompozit silindirik kabuğun serbest titreşimlerin analitik yöntem ve sonlu eleman metoduyla araştırmışlar. Lam ve Santhikumar [6] feder yerleşme yerleri arasındaki mesafeleri kısıtlayarak yaptıkları yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Manaf vd.[7] yaptıkları çalışmada, polimer yapılar mukavemet kazandırılması amacıyla özel bir feder tipinin eklenmesinin sonuçlarını incelemiştir. İnce duvarlı polimer parçalar, enjeksiyondan sonra eğilme belirtileri gösterirler. Federin yapısı ile bu belirtiler iyileştirilebilir. Lan vd. [8] noktasal yük uygulandığında dikdörtgen kesitli federin farklı parametrelerinde polimerlerin mukavemeti üzerinde etkisi incelemiştir. Ayrıca ortaya koydukları feder katsayılarının mukavemet değerleri üzerinde son derece etkili parametreler olduğunu belirlemiştir. Chung ve Lee [9], bir optimizasyon metodunu kullanarak feder optimizasyonunun problemi ve federin en doğru konumlandırılması için nihai yapının sertliğinin artırılmasına yönelik olmuştur. Rostami vd. [10] malzemenin fiziksel özellikleri, kabuk kalınlığı, federin açısı, kalınlık ve sayısı gerilme alanı ve burkulma yükün dağılımı üzerinde etkisi incelenmiştir. Khakzad [11] çalışmada feder yapıların plastik malzemelerde deformasyon ve gerilmeler üzerine etkilerini incelemiştir.

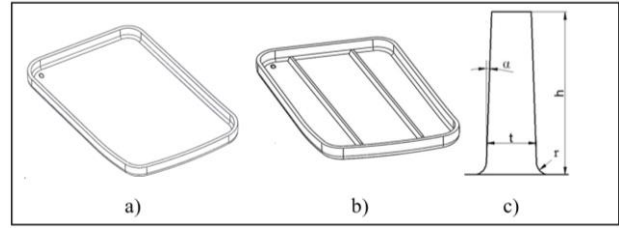
Bu çalışmada, federlerin polimer parçada oluşan gerilmeler üzerine etkileri incelenmiştir. Feder parametresi olarak federin açısı, feder yüksekliği, feder kalınlığı ve federlerin dip yarıçapı belirlenmiştir. Polimer malzemenin mekanik özelliklerini analiz etmek amacıyla herbiri birbirinden farklı 3 feder açısı 5 yükseklik, 5 yarıçap, 5 kalınlık belirlenmiş ve tasarım buna göre yapılmıştır. Polimer parçanın belirtilen parametrelere göre mukavemet analizi Ansys yazılımında yapılmıştır. Polimer numune olarak 35 MPa akma mukavemet değerine sahip polipropilen (PP) seçilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Plastik Parça Modeli

Polimer numunenin genişliği 90,51 mm, uzunluğu 109,24 mm ve iki feder arasındaki mesafe 30,4 mm'dir. Dikdörtgen prizması şeklinde Solidworks programında tasarlanan numunenin kalınlığı 2 mm'dir. Polimer parça ilk önce federsiz tasarlanmış olup feder ve feder parametreleri parametrik olarak tanımlanmıştır. Tasarımı tamamlanan plastik parça Parasolid formatında kaydederek analiz için Ansys yazılımına aktarılmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen polimer parça ve yapısal

parametreleri Şekil 1'de, basınç uygulanan yüzeyler Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. a) Federsiz model b) Federli model c) Feder parametreleri

Polimer parçada köşelerde biriken gerilmenin azaltılması için yarıçap değerinde 1,5 mm'lik yuvarlatma yapılmıştır. Federlerin ve numunenin yan yüzeylerinin birleştiği kısımda gerilim yoğunlaşması olduğundan numune yüzeyi ile temas kesilecek şekilde 30°'lik açı verilmiştir.

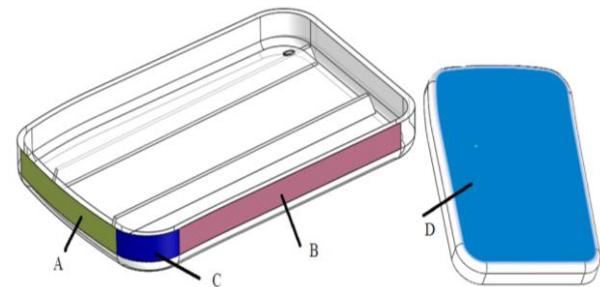
Tablo 1. Polimer numunenin geometrisi

Numune uzunluğu / (y)	109,24 mm
Numune genişliği / (x)	90,51 mm
İki feder arası uzaklık	30,4 mm
Numune kalınlığı	2 mm
Federlerin uzunluğu	101,98

Tablo 2. Feder yapısal parametreleri

Parametre	Birim	Sembol	Değerler				
			1	2	3	4	5
Yükseklik	mm	h	2	3	4,5	6,75	10,25
Kalınlık	mm	t	0,4	0,6	0,9	1,35	2,025
Dip yarıçapı	mm	r	0,001	0,2	0,4	0,8	1,6
Açı	(°)	α	0,5	1	2		

Polimer parça federsiz ve federli olmak üzere iki şekilde tasarlanmıştır. Feder eklenmesi ve feder yapısal parametrelerinin kombinasyonları ile toplamda 345 farklı polimer parça tasarlanmıştır.



Şekil 2. Polimer numune üzerinde basınç uygulanacak yüzeyler

2.2. Polimer Malzeme

Polipropilen malzemesi olarak "Moplen HP548R" ticari kodlu polipropilen malzemesi seçilmiştir. Yaygın olarak kullanılan bu PP malzemesinin özellikleri en yaygın kullanılan veri tabanı olan "Matweb.com" sayfasından alınmıştır [12]. Teorik analizler için gerekli olan PP malzemesinin teknik verileri aşağıda Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Polipropilenin fiziksel özellikleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	ρ	0,905	g/cm ³
Ergiyik Akış İndeksi	MFI	31	cm ³ /10 dk
Elastite modülü	E	1650	Mpa
Akma mukavemeti	σ	35	MPa
Kopmadaki uzama	ϵ	50	%
Termal yumuşama sıcaklığı	T _y	154	°C

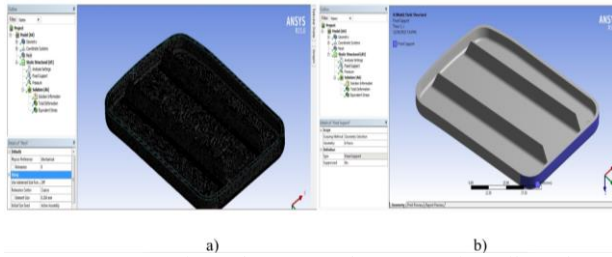
2.3. Ansys Parametreleri

Bu çalışma kapsamında federin plastik parçalardaki gerilmeler üzerinde etkilerinin araştırılması için teorik olarak sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler Ansys 19.2 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ansys giriş parametreleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Ansys giriş parametreleri

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

Ansys yazılımında analiz öncesi mesh yapısı oluşturulur. Mesh özellikleri analiz sonuçlarını etkilediğinden önem arz etmektedir. Plastik parçanın sonlu elemanlar ile analizinin yapılabilmesi için öncelikli olarak CAD ortamından Ansys ortamına import edilmesi gerekmektedir. Bu işlemde sonar yeterli büyüklük tanımlaması yapılarak sonlu sayıda alt bölgelere ayırma işlemi olan "mesh" işlemi yapılmıştır. Ansys için gerekli numune tasarımı Şekil 3.'de verilmiştir. Ankastr ve yüzey seçimi yapıldıktan sonra polimer numuneye uygulanan kuvvet karşısında parçanın gerilmeleri tespit edilecektir.



Şekil 3. a) Numunenin mesh görüntüsü b) Numunenin seçilen ankastr yüzeyleri

Polimer numuneye uygulanacak basınç, federsiz parça için geçerli olan akma dayanımına eş değerde basınç miktarıdır. Analizlere göre basıncın uygulandığı yüzeylerde uygulanan basınç değeri 35 MPa bulunmuştur.

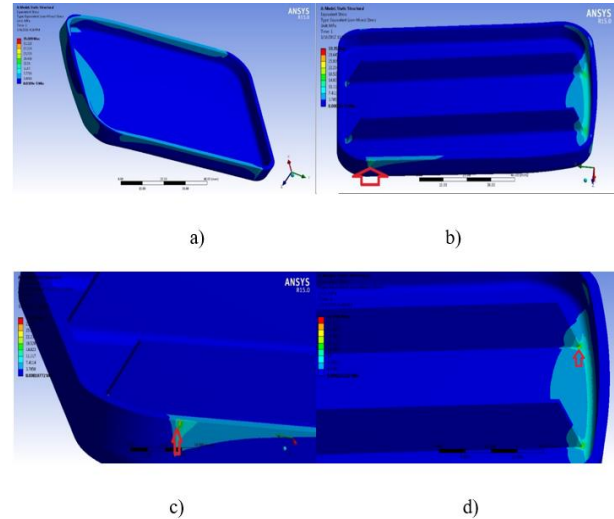
3. BULGULAR

Plastik parçalara herhangi bir kuvvet veya basınç uygulandığı sadece deformasyon miktarı önem arz etmez. Deformasyonun haricinde oluşan bileşik gerilme (Von Mises) değeri de önemlidir. Seçilen malzemenin %

uzama miktarlarına bağlı olarak deformasyon miktarı göreceli olarak büyük değere sahip olsa bile oluşan gerilme değeri akma dayanımının altında ise yük kaldırıldığında tekrar eski haline geleceği için plastik parçanın kullanımında ciddi sorunlar yaşanmamaktadır. Bu bağlamda, gerilme analizleri plastik parça üzerinde A, B, C ve D yüzeylerine uygulanan basınç sonucu oluşan gerilme değerleri elde edilmiş ve feder parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilen gerilme değerleri tespit edilmiştir. Deneysel tasarımı yapılırken seçilen PP malzemesinin akma dayanımının 35 MPa olduğu ve bu değer referans kabul edilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1. A Bölgesinde Oluşan Gerilme Miktarları

Federsiz numunede (Şekil 4.a) A yüzeyine uygulanan basınç sonrasında oluşan gerilme 35 MPa iken yarıçap değerinin 1,6 mm, yüksekliği 10,125 mm, feder açısının 0,5°, polimer malzemede kalınlığının ise 1,35 mm ve olduğu tasarımda gerilme 33,35 MPa'dır (Şekil 4.b). Bu değerlere göre gerilme miktarının yaklaşık %5 azaldığı belirlenmiştir. Federli parçada oluşan en büyük gerilmenin plastik parçada ankastr yüzeyine yakın bölgede feder ile parça gövdesinin birleştiği dar bir bölgede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

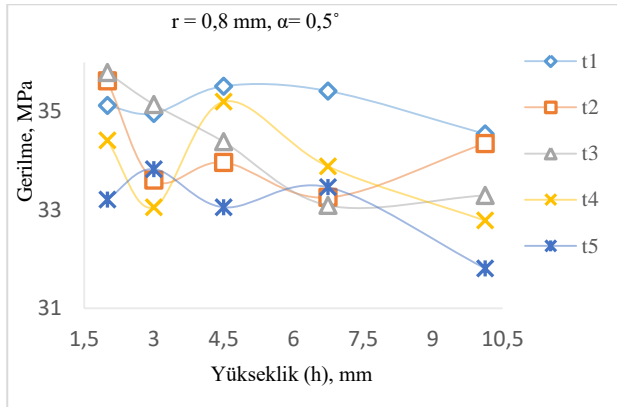


Şekil 4. A yüzeyindeki gerilme miktarları.

- a) Federsiz polimer numune,
b) Federli parçada gerilmenin yoğunlaştığı bölge ($r=1,6$ mm, $h=10,125$ mm, $\alpha=0,5^\circ$, $t=1,35$ mm)
c) Federli parçada gerilmenin yoğunlaştığı bölge ($r=0,2$ mm, $h=10,125$ mm, $\alpha=0,5^\circ$, $t=1,35$ mm)

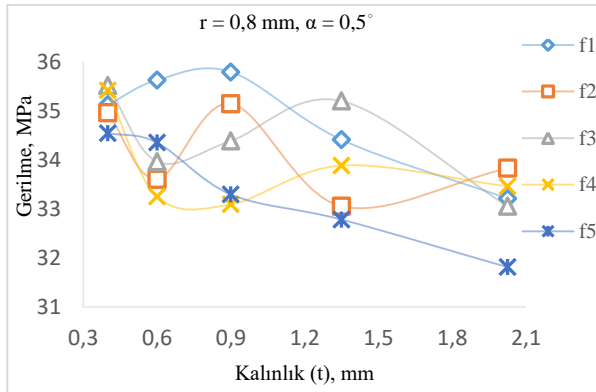
A bölgesine uygulanan basınçta, federin (2, 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm) yükseklik değişimlerinde gerilme oranının üzerindeki etkisi verilmiştir (Şekil 5). Federde $\alpha = 0,5^\circ$ ve $r = 0,8$ mm sabit tutulmuştur. Bu da t_5 kalınlığının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Feder yüksekliği ve kalınlığına bağlı olarak, gerilme oranlarında az da olsa genel bir düşüş söz konusudur. Ancak 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. 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.



Şekil 5. A yüzeyindeki gerilme feder yüksekliği ilişkisi

A bölgesindeki basınçta farklı yükseklikte federin h_1 - h_5 arasındaki kalınlıklarda değişiminin gerilme üzerindeki etkisi Şekil 6'da görülmektedir. Grafığe göre feder yarıçapı ve feder açısı $\alpha=0,5^\circ$ ve $r=0,8$ mm olarak sabit tutulmuştur. Federin yüksekliği $h=10,125$ olduğunda kalınlığın artması gerilme miktarı 34,35 MPa'dan 31,81 MPa'a düşmüş yani gerilme oranı %7,4 azalmaktadır. Feder kalınlığı $t=2,025$ mm ve yüksekliği $h=10,125$ mm'de düşük gerilme tespit edilmiştir. Bu parametrelerde gerilme miktarı 35 MPa'dan 31,81 MPa'a düşerek gerilme oranı %9,1 azalmaktadır.

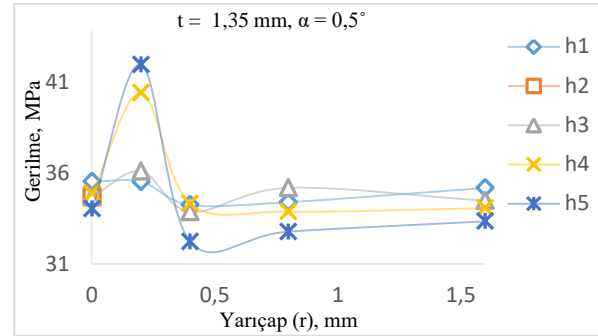


Şekil 6. A yüzeyinde gerilme feder kalınlığı ilişkisi

A bölgesindeki basınçta, farklı yüksekliklerdeki federin 0; 0,2; 0,4; 0,8 ve 1,6 mm yarıçaplarıdaki değişiminin gerilme üzerinde etkisi görülmektedir (Şekil 7). Feder açısı $\alpha=0,5^\circ$ ve $t=1,35$ mm sabit tutulmuştur.

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 MPa ve en küçük gerilme h_5 olduğunda 33,35 MPa da tespit edilmiştir. Gerilme oranının farkı ise % 5,2 civarında olduğu belirlenmiştir. Feder yarıçapı r_3 'ten r_5 'e artırıldığında gerilme değişiminin az olduğu görülmektedir. Feder yüksekliği h_5 olduğunda feder yarıçapı r_3 'ten r_5 'e arttığında gerilme miktarı 32,23

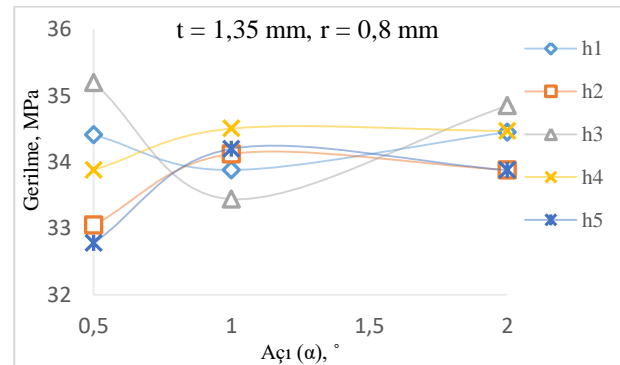
MPa'dan 35,19 MPa'a yükselerek gerilme oranı %9,1 oranında artmıştır.



Şekil 7. A yüzeyinde gerilme feder dip yarıçapı ilişkisi

A bölgesindeki basınçta federin, farklı yüksekliklerde ve $0,5^\circ$; 1° ve 2° olmak üzere farklı açılarda değişiminin gerilme üzerindeki etkisi görülmektedir (Şekil 8). Yarı çap $r=0,8$ mm ve federin kalınlığı $t=1,35$ mm olarak sabit tutulmuştur. En yüksek ile en düşük gerilme feder açısı $\alpha = 0,5^\circ$ 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 miktarı 35 MPa'dan 32,78 MPa'la düşerek gerilme oranı %6,3 azalmaktadır. Feder açısı $\alpha = 2^\circ$ olduğunda en yüksek gerilme h_3 'te 34,84 MPa ve en düşük gerilme h_5 'te 33,89 MPa da görülmektedir. Bu iki gerilmenin yaklaşık %1 oranda farklı olduğu tespit edilmiştir. Yani açının artmasıyla gerilme miktarları yakınsal olmaktadır. Açı $\alpha = 0,5^\circ$ ile $\alpha = 2^\circ$ arasında gerilme değişimi anlamlı olmamaktadır.

Feder açısı $\alpha = 0,5^\circ$ olduğunda en yüksek ile en düşük gerilme miktarının farkı 2,25MPa olarak gerilme oranının farkı %6,2 belirlenmiştir. Feder açısı $\alpha = 2^\circ$ 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 oranının farkı %1,5 olarak görülmektedir. Feder açısı arttıkça gerilme miktarları yakınsal olmaktadır. Açı $\alpha = 0,5^\circ$ ile $\alpha = 2^\circ$ arasında gerilme değişimi anlamlı olmamaktadır.



Şekil 8. A yüzeyinde gerilme feder açısı ilişkisi

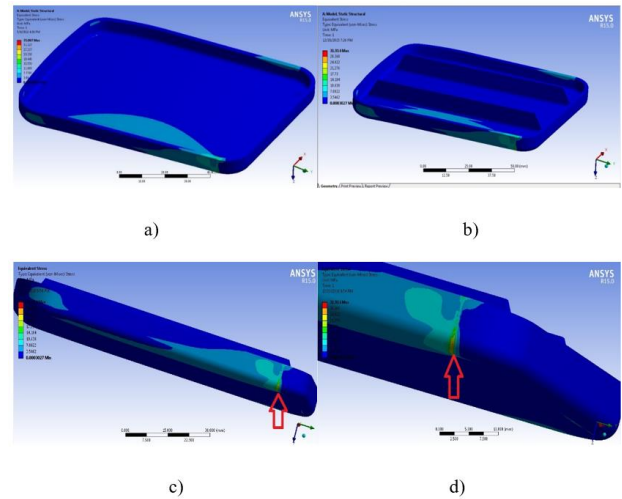
Gerilme grafiğini analizinde önemli olan maksimum gerilme neden olan feder parametreleridir. Gerilme miktarı plastik parçanın akma dayanımını geçerse parçada yüksek olduğu bölgelerde plastik davranışlar bulunmaktadır yani bu bölgelerde basınçtan dolayı kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Buda parçanın hasar 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 dayanımını 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.

Feder yarıçapı düşük olduğu tasarımlarda özellikle $r = 0,2$ mm olduğu zaman feder yüksekliği 3, 4,5, 6,75 ve 10,125 mm'te tasarlandığı zaman en yüksek gerilme federlerin basınç uygulanan bölgeye yakın ve et kalınlığı 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 ankastreya 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 olduğu dikkate alınırsa gerilmenin küçük bir alanda ve genel deformasyonun olduğu bölgenin dışında gerçekleştiği ve sadece o bölgede yoğunlaştığı anlaşılmaktadır.

3.2. B Bölgesinde Oluşan Gerilme Miktarları

Federli ve federsiz numunede oluşan gerilme miktarları ve gerilme analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 9). Federsiz numunede B bölgesinden (kenardan) uygulanan basınç sonucunda gerilme 35 MPa iken yüksekliğin 10,125 mm, yarıçap 1,6 mm, feder açısının $0,5^\circ$ ve polimer parça kalınlığının 1,35 mm 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.

Çalışmada tablo, grafik, resim, şekil gibi nesnelere kullanılacak ise aşağıda gösterilen örneklerde sunulduğu gibi verilmelidir. Şekil veya resim çözünürlükleri minimum 300 dpi olmalıdır.



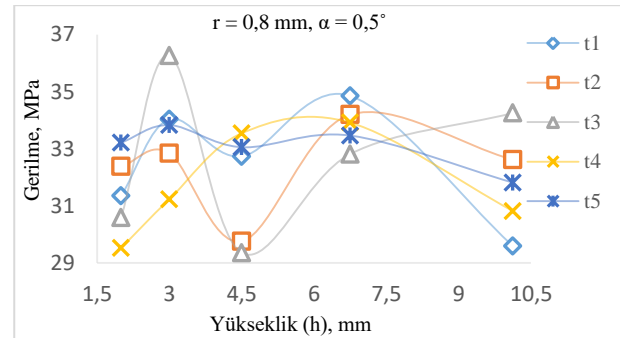
Şekil 9. B yüzeyindeki gerilme miktarları

a) Federsiz numune,

b) Federli numune ($r=1,6$ mm, $h=10,125$ mm, $\alpha=0,5^\circ$, $t=1,35$ mm)

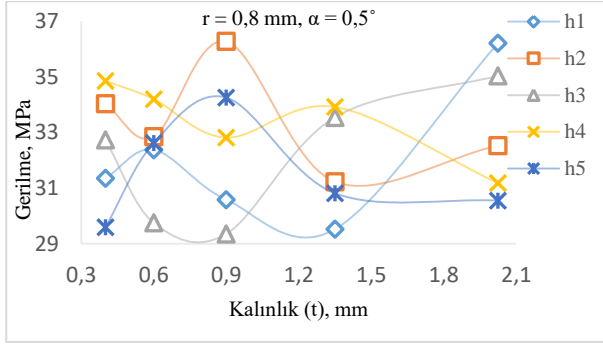
c) d) Federli numunede gerilmenin yoğunlaştığı bölge

B bölgesindeki basınçta farklı kalınlıklarda ve yüksekliklerde değişiminin gerilme üzerindeki etkisi verilmiştir (Şekil 10). Feder parametreleri $\alpha=0,5^\circ$ ve $r=0,8$ mm olarak sabit tutulmuştur. Oldukça değişken olan sonuçlar incelendiğinde en düşük gerilme değeri federin yüksekliği $h=4,5$ mm ve kalınlığı $t=0,9$ mm'de olduğunda tespit edilmiştir. Burada gerilme 35 MPa'dan 29,35 MPa'a düşerek gerilme oranı %16,4 azalmaktadır.



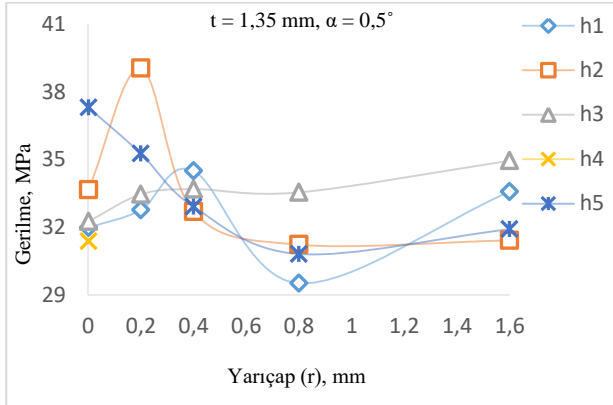
Şekil 10. B yüzeyinde gerilme feder yüksekliği ilişkisi

B bölgesindeki basınçta, 0,4; 0,6; 0,9; 1,35 ve 2,025 mm kalınlıklarda ve federin farklı (2; 3; 4,5; 6,75 ve 10,125 mm) yüksekliklerinde gerilme oranı üzerinde etki Şekil 11'de görülmektedir. Federin $\alpha=0,5^\circ$ ve $r=0,8$ mm sabit tutulmuştur. Görüldüğü üzere kalınlığın artması anlamlı şekilde gerilme üzerinde etkili olamıştır. 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.



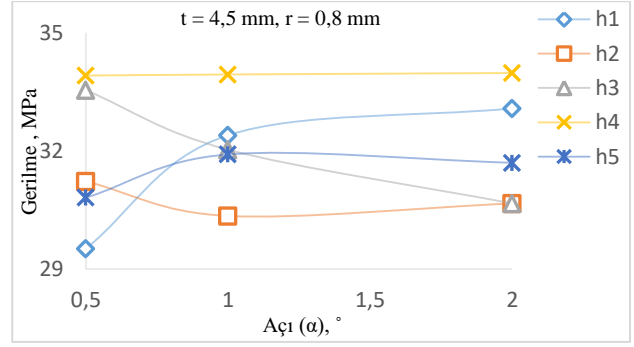
Şekil 11. B yüzeyinde gerilme feder kalınlığı ilişkisi

B bölgesindeki basınçta farklı yüksekliklerde ve yarıçaplarda değişiminin gerilme üzerinde etkisi görülmektedir (Şekil 12). Feder açısı $\alpha=0,5^\circ$ ve feder kalınlığı $t=1,35$ mm sabit tutulmuştur. Feder yarıçapı $r=0,2$ mm, feder yüksekliği $h=3$ mm ve $h=10,125$ mm olduğunda gerilme miktarı akma dayanımını geçmektedir. Ancak diğer parametrelerde tüm gerilmeler akma dayanımının altında kalmaktadır. 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'ya düşmüştür).



Şekil 12. B yüzeyindeki gerilme feder dip yarı çapı ilişkisi

B bölgesindeki basınçta farklı yüksekliklerde ve açı değerlerindeki değişiminin gerilme üzerindeki etkisi Şekil 13'de görülmektedir. Feder kalınlığı $t=1,35$ mm ve yarıçap değeri $r=0,8$ mm olarak sabit tutulmuştur. 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.

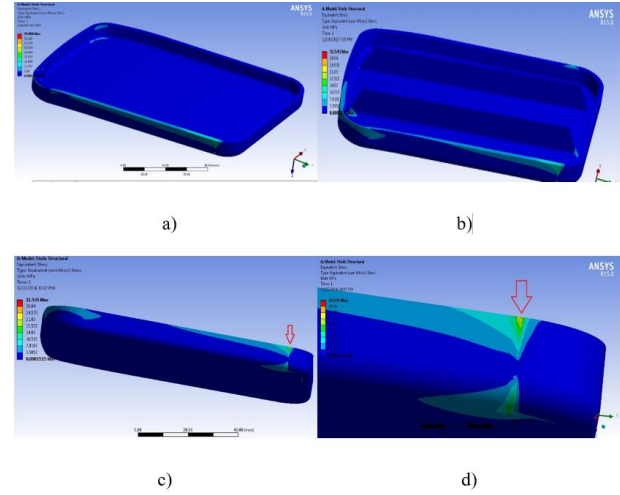


Şekil 13. B yüzeyindeki gerilme feder açısı ilişkisi

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.

3.3. C Bölgesinde Oluşan Gerilme Miktarları

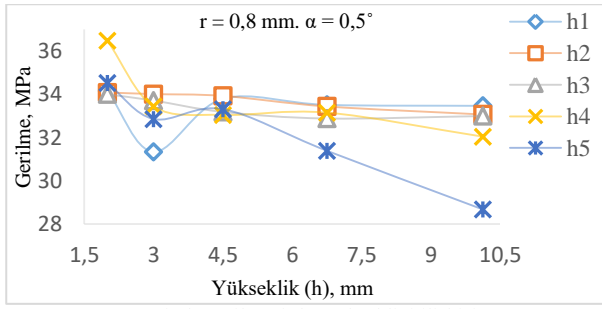
Federli ve federsiz numunede meydana gelen gerilme miktarları ile gerilme analiz görüntüleri verilmiştir Şekil 14'te verilmiştir. Federsiz numunede C yüzeyinden (köşeden) uygulanan basınç ile oluşan gerilme 35 MPa iken yarıçap değerinin 1,6 mm, yüksekliği 10,125 mm, polimer parça kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının $0,5^\circ$ olduğu tasarımda gerilme miktarının 31,54 MPa olarak gerçekleşmiştir. Gerilme oranı yaklaşık %10 azalmaktadır.



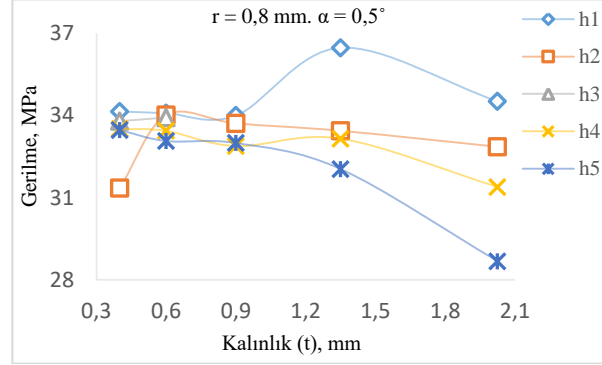
Şekil 14. C bölgesinde oluşan gerilme miktarları

- a) Federsiz numune
b) Federli numune ($h=10,125$ mm, $r=1,6$ mm, $t=1,35$ mm, $\alpha=0,5^\circ$)
c) d) Federli numunede oluşan gerilmenin yoğunlaştığı bölge

C yüzeyinde, farklı kalınlıklarda ve yüksekliklerdeki değişiminin gerilme oranının üzerinde etkisi görülmektedir (Şekil 15). Federin $r=0,8$ mm ve $\alpha=0,5^\circ$ değerleri sabittir. Bu grafikte h_4 ve h_5 olduğunda kalınlığın artması gerilme miktarını nispeten düzenli şekilde düşürmektedir. En düşük gerilme değeri feder parametrelerinin h_5 , t_5 , r_4 ve α_1 olduğu tasarımda 28,26 MPa'da belirlenmiştir.

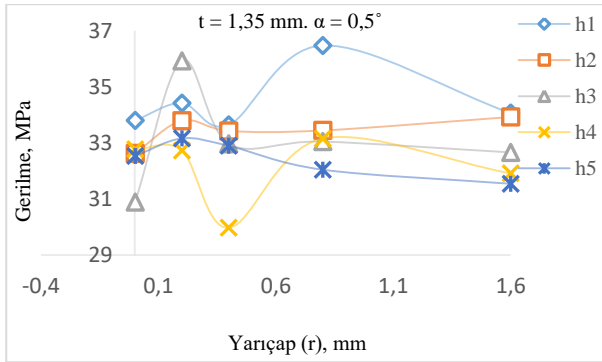


Şekil 15. C yüzeyinde gerilme feder yüksekliği ilişkisi



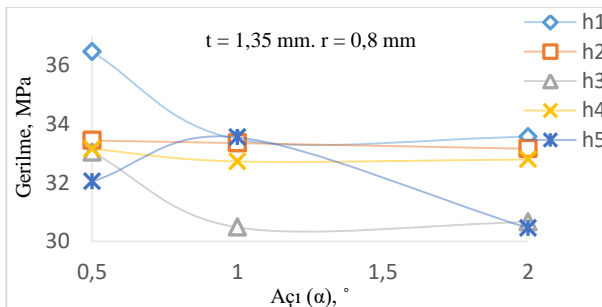
Şekil 16. C yüzeyinde gerilme feder kalınlığı ilişkisi

C bölgesindeki basınçta farklı yüksekliklerde ve yarıçaplarda değişiminin gerilme üzerinde etkisi Şekil 17'de görülmektedir. Feder açısı $\alpha=0,5^\circ$ ve kalınlığı $t=1,35$ ve sabit tutulmuştur.



Şekil 17. C yüzeyinde gerilme feder dip yarıçapı ilişkisi

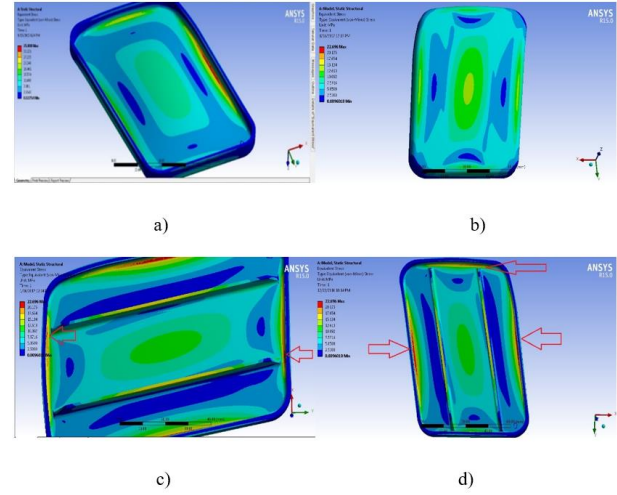
C bölgesindeki basınçta farklı yüksekliklerde ve açılardaki değişimin gerilme üzerinde etkisi Şekil 18'de verilmiştir. Yarıçap $r = 0,8$ mm ve feder kalınlığı $t = 1,35$ mm sabittir. α_1 ve h_1 olduğunda gerilme miktarı 36,46 MPa'da en yüksek gerilme olarak belirlenmiştir. En düşük gerilme feder parametreleri α_1 ve h_3 olduğunda, 30,48 MPa'da belirlenmiştir.



Şekil 18. C yüzeyinde gerilme feder açısı ilişkisi

3.4. D Bölgesinde Oluşan Gerilme Miktarları

D yüzeyindeki federli ve federsiz numunede oluşan gerilme miktarları ve gerilme analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 19). Federsiz numunede D bölgesinden (arkadan) uygulanan basınç sonucunda oluşan gerilme 35 MPa iken, yarıçap değerinin 1,6 mm, yüksekliğinin 10,125 mm, polimer parça kalınlığı (t) 1,35 mm ve feder açısının $0,5^\circ$ olduğu tasarımdaki gerilme miktarının 22,68 MPa olarak belirlenmiştir. Gerilme oranı yaklaşık %35 azalmaktadır.



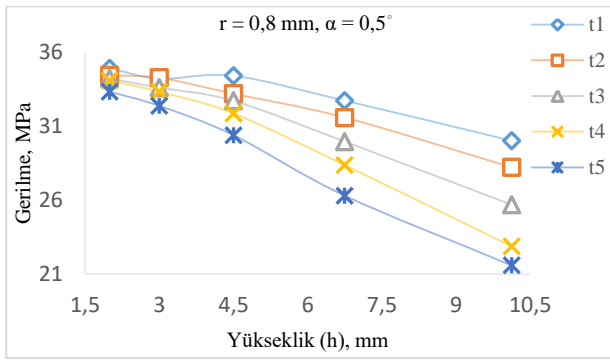
Şekil 19. D yüzeyinde oluşan gerilme miktarları.

a) Federsiz numune,

b) c) d) Federli numune ($h=10,125$ mm, $r=1,6$ mm, $t=1,35$ mm, $\alpha=0,5^\circ$)

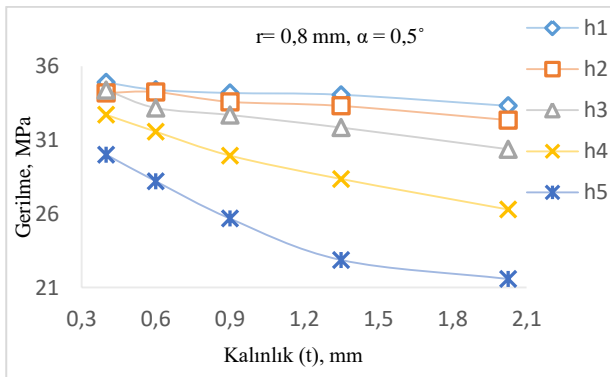
D bölgesindeki basınçta farklı kalınlıkların ve yükseklik değişimlerinin gerilme üzerinde etkisi Şekil 20'de verilmiştir. Federin $r=0,8$ mm ve $\alpha=0,5^\circ$ sabit tutulmuştur. Şekil 20 incelendiğinde federin yüksekliğinin artışı gerilme oranını azalmaktadır. En düşük gerilme, feder h_5 yükseklikte 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.

En büyük yükseklik, en düşük gerilmeye sebep olmuştur. $h=10,125$ mm feder yüksekliğinde ve aynı zamanda $r=1,6$ mm feder yarı çapında 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.



Şekil 20. D yüzeyinde gerilme feder yüksekliği ilişkisi

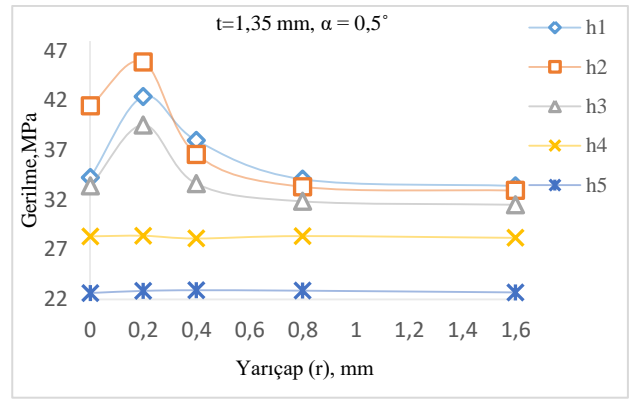
D yüzeyinde farklı yükseklikte ve kalınlıklardaki değişiminin gerilme üzerindeki etkisi Şekil 21'de görülmektedir. Kalınlığın artışı gerilmeye azalmaya neden olmuştur. Feder parametreleri $t=0,4$ mm ve $h=2$ mm olduğunda en yüksek gerilme 34,90 MPa'da gerçekleşmiştir. Gerilme miktarı akma dayanımının altında bulunmaktadır yani bu tasarımda kalıcı deformasyon oluşmamaktadır. Yükseklik arttıkça kalınlığın etkisinin gerilme üzerinde oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca en düşük gerilme, en yüksek kalınlık ve yükseklikte görülmüştür. Dolayısıyla $h=6,75-10,125$ mm yüksekliklerinde kalınlığın artışı gerilmenin düşmesinde çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Kalınlık artması, feder yüksekliği $h=10,125$ mm olduğunda gerilme oranını yaklaşık %37,5 azalmasına neden olmuştur. Feder parametreleri $t5$ ve $h5$ olduğunda en düşük gerilme tespit edilmiştir. Bu parametrelerde plastik parçanın gerilmesi miktarı 35 Mpa'dan 21,57 Mpa'a düşerek gerilme oranı federsiz parçayla karşılaştırıldığında %38 azalmaktadır.



Şekil 21. D yüzeyinde gerilme feder kalınlığı ilişkisi

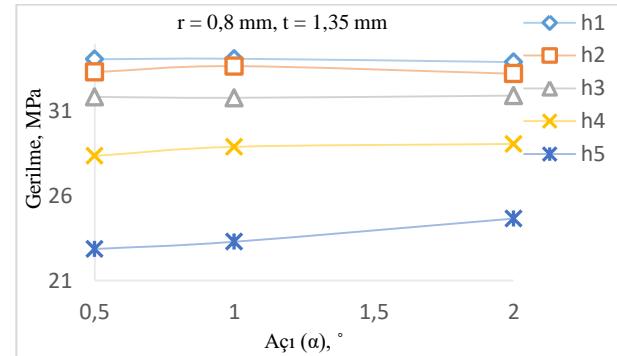
D bölgesindeki basınçta farklı yükseklik ve yarıçap değişimlerinin gerilme üzerindeki etkisi Şekil 22'de verilmiştir. Feder kalınlığı $t=1,35$ ve feder açısı $\alpha=0,5^\circ$ sabit tutulmuştur. Düşük yüksekliklerde ($h1, h2, h3$) yarıçapın $r=0,001$ mm'den $r=0,2$ mm'ye artması gerilme oranını artmaktadır. Ancak yarıçapın artmasıyla $r=0,2$ mm'den $r=0,4$ mm'ye, gerilme oranı düşmektedir.

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. En düşük gerilme de polimer numunenin gerilmesi federsiz polimer numuneye göre yaklaşık %34 azalmaktadır (35 MPa dan 22,69 MPa düşmüştür).



Şekil 22. D yüzeyinde gerilme feder dip yarıçapı ilişkisi

D bölgesindeki basınçta farklı yüksekliklerde ve farklı açılardaki değişiminin gerilme üzerindeki etkisi Şekil 23'de verilmiştir. Yarıçap değeri ($r=0,8$ mm) ve feder kalınlığı ($t=1,35$ mm) sabittir. Düşük yüksekliklerde açının artması gerilme miktarını değiştirmektedir ancak feder yüksekliği arttıkça açının artışı gerilme miktarını da artırmaktadır. En düşük gerilme $h5$ ve açı α_1 olduğunda gerçekleşmiştir. Açı $\alpha=0,5^\circ$ olduğunda yüksekliğin artması gerilme miktarını 34,07 MPa'dan 22,86 MPa'a düşürerek gerilme oranı %33 azaltmaktadır. Ayrıca bu değerde gerilme oranı federsiz parçaya göre yaklaşık %34,6 azalmaktadır (35 MPa'dan 22,86 MPa'a düşmüştür).



Şekil 23. D yüzeyinde gerilme feder açısı ilişkisi

4. SONUÇ

Gerilme analizine göre federli ve federsiz polimer numunede gerilme dağılımının yaklaşık değerlerde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Federli numunede elde edilen en büyük/en küçük gerilme miktarları

Basınç uygulanan yüzey	En büyük gerilme miktarı	Değişim oranı %	En küçük gerilme miktarı	Değişim oranı %
A	41,99	+%20	31,49	-%10
B	39,03	+%19,7	26,3	-%25
C	42,35	+%21	28,68	-%18
D	56,38	+%61	21,57	-%39

- A bölgesinden 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, polimer numune kalınlığının 0,6 mm ve feder açısının $0,5^\circ$ olduğu tasarımda en düşük gerilme tespit edilmiştir. Feder yüksekliğinin 10,125 mm, yarıçap değerinin 0,2 mm, polimer malzeme kalınlığının 1,35 mm ve feder açısının $0,5^\circ$ olduğu tasarımda en yüksek gerilme olduğu tespit edilmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %10 azaltmasında ve %20 artmasında görülmektedir.

- B bölgesinden uygulanan basınçta en düşük gerilme 26,3 MPa ve en yüksek gerilme 39,03 MPa da görülmektedir. Feder yüksekliği 3 mm, yarıçap değerinin 0,001 mm, polimer numune kalınlığının 0,6 mm ve feder açısının $0,5^\circ$ olduğu tasarımda en düşük gerilme tespit edilmiştir. Feder yüksekliği 3 mm, polimer malzeme kalınlığının 1,35 mm, yarıçap değerinin 0,2 mm ve feder açısının $0,5^\circ$ olduğu tasarımda en yüksek gerilme olduğu tespit edilmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %25 azaltmasında ve %19,7 artmasında tespit edilmiştir.
- C bölgesinden 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, polimer numune kalınlığının 2,025 mm ve feder açısının $0,5^\circ$ olduğu tasarımda en düşük gerilme tespit edilmiştir. Feder yüksekliği 2 mm, polimer malzeme kalınlığının 0,9 mm, yarıçap değerinin 1,6 mm ve feder açısının 1° olduğu tasarımda en yüksek gerilmenin olduğu tespit edilmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %18 azaltmasında ve %21 artmasında tespit edilmiştir.
- D bölgesinden uygulanan basınçta en düşük gerilme 21,57 MPa ve en yüksek gerilme 56,38 MPa da görülmektedir. Feder yüksekliği 10,125 mm, yarıçap değerinin 0,8 mm, polimer numune kalınlığının 2,025 mm ve feder açısının $0,1^\circ$ olduğu tasarımda en düşük gerilme tespit edilmiştir. Feder yüksekliği 2 mm, polimer malzeme kalınlığının 2,025 mm, yarıçap değerinin 0,001 mm ve feder açısının 1° olduğu tasarımda en yüksek gerilmenin olduğu tespit edilmiştir. Federlerin etkisi parçanın gerilme oranının %39 azaltmasında ve %61 artmasında tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Guo W, Hua L, Mao H. Minimization of sink mark depth in injection-molded thermoplastic through design of experiments and genetic algorithm. *Int J Adv Manuf Technol.* 2014; 72(1-4):365-375.
- [2] Erzurumlu T, Özcelik B. Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method. *Mater. Des.* 2006;27(10): 853-861.
- [3] Mathivanan D, Nouby M, Vidhya R. Minimization of sink mark defects in injection molding process-Taguchi approach. *Int J of Eng Science and Technol.* 2010; 2(2):13-22.
- [4] James P, Krishna DM, Kotresh G, Varughese B. Finite element analysis of inter spare ribs of composite wing of light transport aircraft against brazilian load. In National Conference on Scientific Achievements of SC and ST Scientists and Technologists. 2009, Bangalore:2009. 17.
- [5] Salimi H, Noorabadi M, Eskandari JJ. Vibration Analysis of Composite Cylindrical Shell Reinforced with Circumferential Rib. *Tabriz J of Mechanic.* 2016; 46(2):167-172.
- [6] Lam YC, Santhikumar S. Automated rib location and optimization for plate structures. *Struct Multidiscip Optim.* 2003; 25(1):35-45.
- [7] Manaf ARA, Zawawi MZ, Adly NZI. Thin Walled Part Warping Overcoming by Honeycomb Ribs Design. In *Adv Mater. Res.* 2014; 903:181-186.
- [8] Lan T, Chiu MC, Yeh LJ. An Approach to Rib Design of Injection Molded Product Using Finite Element and Taguchi Method. *Inf Technol J.* 2008;7(2): 299-305.
- [9] Chung J, Lee K. Optimal design of rib structures using the topology optimization technique, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. J of Mech. Eng Science.* 1997; 211(6):425-437.
- [10] Rostami LS, Akbari AR, Kolaheidou A. Effect of geometrical parameters of cylindrical composite grid structures in behavior buckling. *J of Mech Eng.* 2015;8(3) 197-207.
- [11] Khakzad F. Feder parametrelerinin plastik parça mukavemeti üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2017.
- [12] <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=2d1f886e8e964ebf8cc57c4c400b7816&ckck=1>