

Polipropilen malzemeden üretilmiş plastik parçada federlerin deformasyon üzerindeki etkilerinin araştırılması

Investigation of rib effects on deformation in plastic part made from polypropylene

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

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

aguldash@gazi.edu.tr

²Makine ve Teknolojileri Bölümü, Malatya Meslek Yüksekokulu, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye.

mehmet.altug@inonu.edu.tr

³Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

fkhakzad@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 19.04.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 03.12.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.52893

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, federlerin plastik parçanın deformasyonuna etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, feder parametresi olarak feder kalınlığı, feder yüksekliği, federin açısı ve federlerin dip kısmındaki yarıçapı olmak üzere dört farklı feder parametresi belirlenmiştir. Plastik parçanın mekanik özelliklerini analiz edebilmek için 5 farklı yükseklik, 5 farklı kalınlık, 5 farklı yarıçap ve 3 farklı feder açısı belirlenerek tasarım yapılmıştır. Plastik parçanın belirlenen parametrelere göre mukavemeti Ansys yazılımı ile analiz yapılarak tespit edilmiştir. Bu çalışmaya göre, feder yüksekliğinin artması deformasyon oranını yaklaşık %49 azaltmaktadır. Ayrıca, feder kalınlığı ise deformasyon miktarını %44 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Feder, Mekanik analiz, Deformasyon oranı, Polipropilen

Abstract

In this study, the effects of the ribs on the deformation of the plastic part were investigated. In this context, four different rib parameters have been selected, namely the rib thickness, the rib height, the rib angle and the radius at the bottom of the feds. 5 different heights, 5 different thicknesses, 5 different radiuses and 3 different rib angles were used for designing of plastic part and analyzing of the mechanical properties of the plastic part. Resistance of the plastic part according to the identified parameters was determined by analyzing with Ansys software. According to this study, the increase in rib height reduces the deformation rate of plastic part by about 49%. In addition, was found that rib thickness reduce the amount of deformation rate by 44%.

Keywords: Rib, Mechanic analysis, Deformation ratio, Polypropylene

1 Giriş

Federler plastik parçalarda parçanın fonksiyonel bölgelerini ve görünümünü çok etkilemeden mukavemetini artırmak için kullanılan yapısal omurgalardır. Plastik parçalar kullanım yerlerinde oluşan gerilmeler sonucu deformasyona uğrayabilirler. Feder yapıları bu deformasyonların en aza indirilmesini sağlayabilmektedir. Plastik parçanın et kalınlığının artırılması sonucu parçada çökmeler ve çarpılmalar oluşmaktadır. Feder yapıları ile plastik parçaların et kalınlığını arttırmadan çökme ve çarpılmalar en aza indirilebilmektedir.

Literatürde plastik parça tasarımında federli yapıların incelendiği ve feder parametrelerini incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. Lam ve Santhikumar [1] feder tasarımında federlerin konumları arasındaki mesafeleri kısıtlayarak feder yerleşimi için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Yang, Lin ve Chang [2] çalışmasında, gaz enjeksiyon sürecinin verimliliğini artmasında yapısal federlerin etkisi incelemişlerdir. Parçada çökme sonucu çarpılmanın önlemesine rağmen yardımcı gaz nüfuzu ile gaz enjeksiyonu neticesinde ve dolmuş sırasında oluşan büyük boşluklardan dolayı, dayanıklılığın tahribi ve zayıflamasına sebep olduğunu saptamışlardır. Manaf ve diğ. [3] yaptıkları çalışmada, plastik yapılara dayanım kazandırılması üzerinde federlerin özel bir türünün eklenmesinin etkisini incelemiştir. İnce cidarlı plastik parçalar, enjeksiyondan sonra eğilme yönünde bulduklarından, eğilmeye federin yapısal özellikleri ile karşılık verilebileceğini ortaya

koymuşlardır. Guo ve diğ. [4] çalışmasında, plastik enjeksiyon kalıplamada gerçekleşen feder arkasındaki çökme noktalarını en aza indirmek için bir çalışma yapmıştır. Sonuçlara göre plastik parçadaki federde; ince kalınlıklarda, düşük erime ve kalıbın uygun soğutulmasına bağlı olarak daha az çökme oluşacağı tespit edilmiştir. Tian-syung ve diğ. [5] çalışmalarında arkadan noktasal yük uygulandığında dikdörtgen profile sahip federin farklı parametrelerin plastik parçanın deformasyon üzerinde etkisi incelemişler. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre, tespit edilen feder katsayılarının plastik parçanın deformasyonu etkileyen önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Erzurumlu ve Özcelik [6] yaptıkları çalışmada, plastik parçaların enjeksiyonla kalıplanması sırasında ürün üzerinde oluşan çarpılmalar ve büzülmelerin en aza indirilebilmesi için etkin parametrelerin optimizasyonu için Taguchi metodu kullanılmıştır. James ve diğ. [7] makalesinde; hava taşıtlarında kullanılan kompozit kanatçığın içerisindeki feder yapılarının kanata uygulanan yüklere karşı kanatın mukavemetini nasıl etkilediğini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Buna göre, federin içindeki deliklerin etrafında kıvrılmalarla ve dikey köşebentlerinin ortadan kaldırılmasıyla daha sağlam bir feder yapısı elde edildiği belirtilmiştir. Mathivanan ve diğ. [8] enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle üretilen plastik parçalar üzerindeki oluşan çökme izlerini incelemiş ve çökme izlerinin oluşumu üzerinde etkili olan parametreleri Taguch metodu ile optimize ederek en uygun

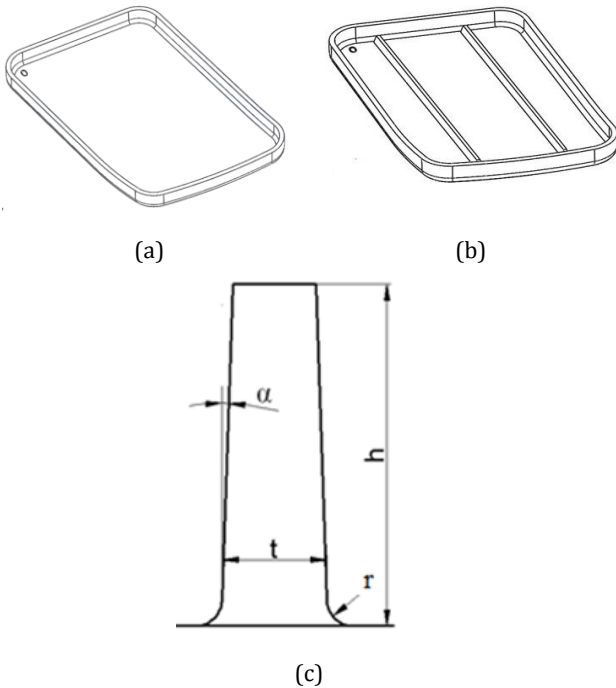
parametreler belirlenmiştir. Buna göre, disk şeklindeki bir plastik ürün üzerine yerleştirilmiş federlerin giriş noktasına göre uzaklığı arttıkça ve federler arası mesafe arttıkça plastik ürün üzerindeki çökme izlerinin derinliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Chung ve Lee [9] yaptıkları çalışmalarındaki amaçları, topoloji optimizasyon yönteminden yararlanarak feder tasarımında optimizasyon yapmak ve federlerin en doğru konumu tespit edilerek plastik parçanın mukavemetinin artırılması sağlanmıştır. Khakzad [10] çalışmasında plastik malzemelerde federin deformasyon üzerinde etkilerini incelemiştir.

Bu çalışmada federlerin plastik parçanın deformasyonuna etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, feder parametresi olarak feder kalınlığı, feder yüksekliği, federin açısı ve federlerin dip kısmındaki yarıçap olmak üzere dört farklı parametre belirlenmiştir. Plastik parçanın mekanik özelliklerini analiz edebilmek için 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 polipropilen (PP) seçilmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Plastik parça modeli

Geometrik özellikleri Tablo 1'de verilen uzunluğu 109.24 mm, genişliği 90.51 mm ve federler arasındaki mesafe 30.4 mm'dir. 2 mm et kalınlığına sahip dikdörtgen prizması şeklindeki plastik parça Solidworks ortamında tasarlanmıştır. Plastik parça parametrik olarak hem federli hem de federsiz olarak tasarlanmış olup federlerin plastik parçanın mukavemetine etkisi incelenmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen plastik parça ve parametreleri Şekil 1a ve b'de görülmektedir. Parça üzerine yerleştirilecek feder yapısı Şekil 1c ve parametrelerin tanımlanması Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1: Plastik parçanın. (a): Federsiz modeli, (b): Federli modeli, (c): Feder parametreleri.

Tablo 1: Deneysel numunesi geometrisi.

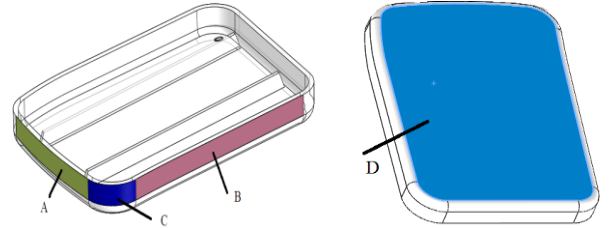
Parametre	Değer
Plastik parça uzunluğu (y), mm	109.24
Plastik parça genişliği (x), mm	90.51
Federler arasındaki mesafe, mm	30.4
Parçanın et kalınlığı, mm	2
Federlerin uzunluğu, mm	101.98

Tablo 2: Feder parametreleri.

Parametre	Sembol	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 (°)	α	0.5	1	2		

Plastik parçada özellikle köşelerde gerilme birikmesinin azaltılması için 1.5 mm yarıçap değeri verilerek köşelere yuvarlatma (radüs) gerçekleştirilmiştir. Federlerin parça yan yüzeyleri ile birleştiği bölgede gerilim birikmesi olduğundan dolayı parça iç kısmında federin parça yüzeyine tamamen değmemesi yani temas etmemesi için feder sonuna 30°'lik açı verilmiştir.

Plastik parçaya basınç uygulanacak yüzeyler Şekil 2'de gösterilmiştir. Feder elemanının eklendiği durumda ise feder parametrelerinin çeşitli kombinasyonları sonucu plastik parça toplamda 345 farklı şekilde tasarlanmıştır. Bunların yanında feder parametrelerinin bazıları ile feder oluşturulamamış olduğunda federin ilgili parametresi kapsam dışı tutulmuştur.



Şekil 2: Plastik parça üzerinde basınç uygulanacak yüzeyler.

2.2 Plastik malzeme

Federlerin plastik parça mukavemetine etkilerinin incelenebilmesi için Ansys yazılımında malzeme tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde plastik malzeme olarak Moplen HP548R ticari kodlu polipropilen kullanılmıştır. Polipropilenin üretici firma tarafından verilen fiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Polipropilenin 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

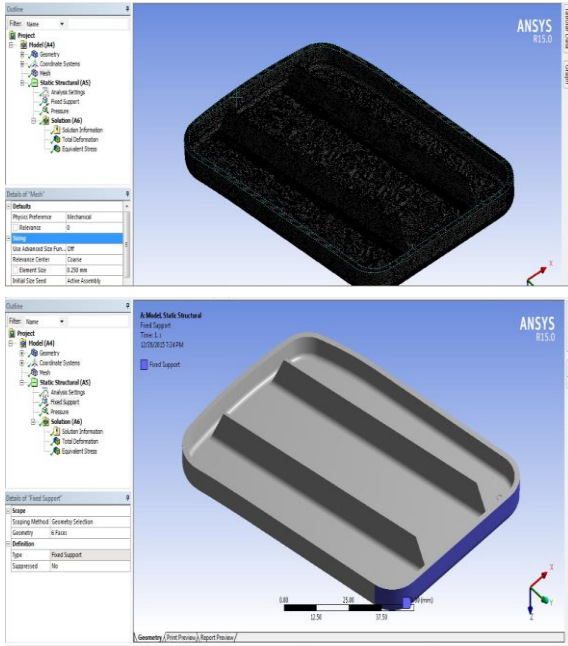
2.3 Ansys yazılımında kullanılan parametreler

Plastik parçaların feder yapılarının mekanik mukavemetlere etkisinin incelenmesi için mekanik analizler Ansys yazılımında gerçekleştirilmiştir. Ansys'de malzeme tanımlanması için kullanılan parametreler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Ansys giriş parametreleri.

Parametre	Değeri
Akma dayanımı	35 MPa
Elastikiyet modülü	1650 MPa
Poisson oranı	0.3
Yoğunluk	0.905 g/cm ³

Ansys programında analiz yapılmadan önce mesh yapılması gerekmektedir (Şekil 3a). Mesh yaparken en önemli parametrelerden biri "mesh size" dir. 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. Parçaya basınç ve kuvvet uygulandığında plastik parçanın bir kenarı ya da yüzeyinin ankastre olması gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 3b'de 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 gerilmeler tespit edilebilmektedir.



Şekil 3(a): Parçanın mesh görüntüsü. (b): Parçanın seçilen ankastre yüzeyleri.

Plastik parçaya uygulanacak basınç değerleri, federsiz plastik parçanın akma dayanımına eş değer basınç miktarı olarak belirlenmiştir. Yapılan bu ön analiz ile akma dayanımının bulunduğu basınç ile oluşan gerilme seçilen malzemenin akma dayanımı olan 35 MPa'a eşitlenmiştir. Analizlerle basıncın uygulandığı tüm yüzeylerde uygulanan basınç değerinin 35 MPa'a eşit gelecek basınç kuvveti bulunmuştur.

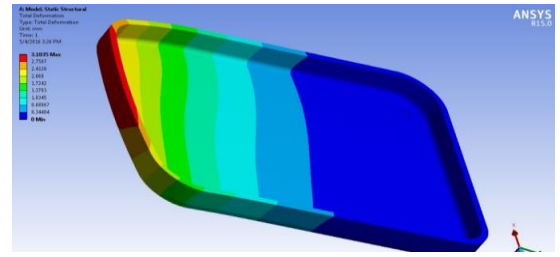
3 Sonuçlar

Plastik parçalara belirli basınç ya da kuvvet uygulandığında 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 miktarının plastik deformasyon miktarını geçmesi durumunda üründe kalıcı şekil değişikliği gerçekleşmiş olacaktır.

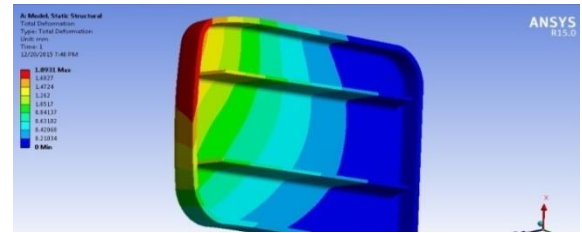
için ürün kullanılamaz hale gelecektir. Gerçekleştirilen bu çalışmada plastik parçaya uygulanan referans gerilme değerleri ile akma dayanımı sınırına kadar gerilme uygulanmıştır.

3.1 A yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları

Şekil 4'te verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada A yüzeyinden (önden) uygulanan basınç sonucu oluşan deformasyonu Tablo 4'te verildiği gibi 3.10 mm iken yüksekliği 10.125 mm, yarıçap değerinin 1.6 mm, plastik parça et kalınlığının 1.35 mm ve feder açısının 0.5° olduğu tasarımdaki deformasyon miktarının 1.89 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir.



(a)

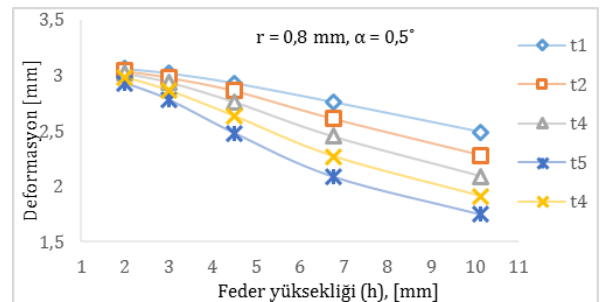


(b)

Şekil 4: A yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları.

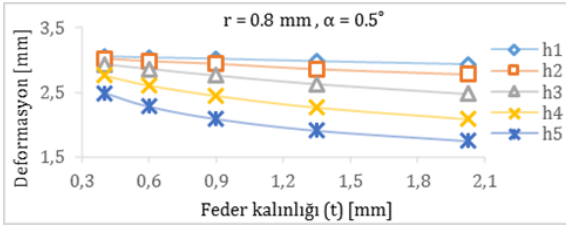
(a): Federsiz plastik parça, (b): Federli plastik parça (h=10.125 mm, r=1.6 mm, t=1.35 mm, α=0.5°).

A yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4.5; 6.75 ve 10.125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 5'te görülmektedir. Feder dip radius değeri ve feder açısı sırasıyla r=0.8 mm ve α=0.5° sabit tutulmuştur. Şekil 5'te görüldüğü gibi federin yüksekliğinin artması deformasyon oranı azaltmaktadır. Yani uygulanan yüke bağlı olarak plastik parçadaki şekil değişikliği artmıştır. Bu durum istenmeyen bir durumdur. Buna göre feder yüksekliği ile deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Plastik parçada federin yüksekliği 10 mm ve federin kalınlığının 2 mm olduğunda deformasyon oranı %41 azalmaktadır. Ayrıca feder parametreleri h5 ve t5 olduğunda, plastik parçanın deformasyonu federsiz parçaya göre %44 azalmaktadır (3.10 mm'den 1.75 mm'ye düşmüştür). Yani iyileşme gerçekleşmiştir.



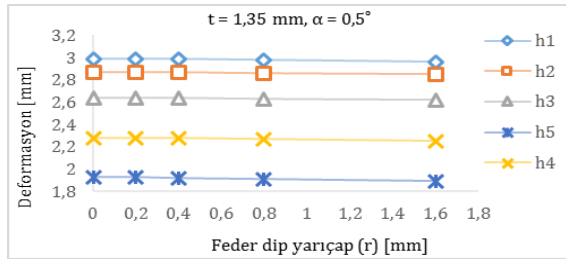
Şekil 5: A yüzeyinde deformasyon feder yüksekliği ilişkisi.

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksek değerlerinde feder kalınlığının 0.4; 0.6; 0.9; 1.35 ve 2.025 mm olduğu durumlarda kalınlıklardaki değişimin deformasyon oranını üzerinde etkisi Şekil 6'da görülmektedir. Bu grafikte feder yarıçapı $r=0.8$ mm ve feder açısı $\alpha=0.5^\circ$ olarak sabit tutulmuştur. Buna göre, feder kalınlığının artması deformasyonun azalmasına sebep olmuştur. Feder kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmektedir. Feder kalınlığı 6.75 mm ve yüksekliği 10.125 mm olduğunda deformasyon miktarı 2.49 mm'den 1.75 mm'ye düşerek %30 oranında azaldığı görülmüştür. Buna göre feder kalınlığının artmasına bağlı olarak plastik parçanın mukavemeti artmış ve deformasyon oranı düşmüştür. Ayrıca Feder parametresi h_5 ve t_5 olduğunda plastik parçanın deformasyonu federsiz parçayla karşılaştırıldığında deformasyon miktarı 3.10 mm'den 1.75 mm'ye düşmüştür ve buna göre yüzde değişim oranının ise %43.5 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca göre feder yüksekliği ve feder kalınlığının artması mukavemeti artırmıştır.



Şekil 6: A yüzeyinde deformasyon feder kalınlığı ilişkisi.

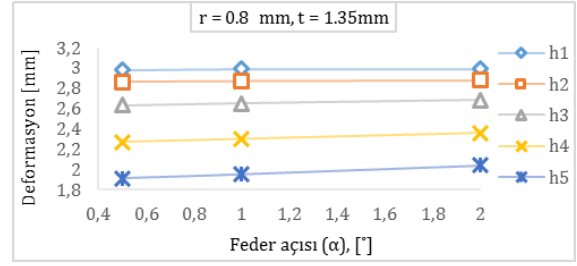
A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0.2; 0.4; 0.8 ve 1.6 mm yarıçaplarında değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 7'de görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla $t=1.35$ ve $\alpha=0.5^\circ$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Feder diplerindeki radüs yarıçapının artması parçanın deformasyon oranını çok düşük miktarda düşürmektedir. Yarıçapın artması mukavemeti olumlu yönde etkilemiştir. Feder diplerindeki radüs yarıçapı değerinin deformasyon oranı üzerindeki etkisi feder yüksekliği ve feder kalınlığı gibi parametrelerin deformasyon oranı üzerindeki etkisinin yanında düşük olmaktadır. Ancak, feder diplerindeki bu yarıçap plastik parçasının deformasyonu üzerinde olumsuz etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, ileriki bölümde görüleceği gibi feder diplerindeki yuvarlatmanın gerilmenin feder diplerinde yığılmasını önlediğini tespit edilmiştir.



Şekil 7: A yüzeyinde deformasyon feder dip yarıçapı ilişkisi

A yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0.5° ; 1° ve 2° açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 8'de görülmektedir, yarıçap 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. Yani feder açısının artmasının plastik parçanın mukavemetine ciddi anlamda olumlu katkı

bulunmamaktadır. Ancak, feder açısının en yüksek olduğu tasarımda bile federsiz plastik parçaya göre deformasyon miktarı yine düşüktür. Yani olumsuz etkisi bulunmamaktadır.



Şekil 8: A yüzeyinde deformasyon feder açısı ilişkisi.

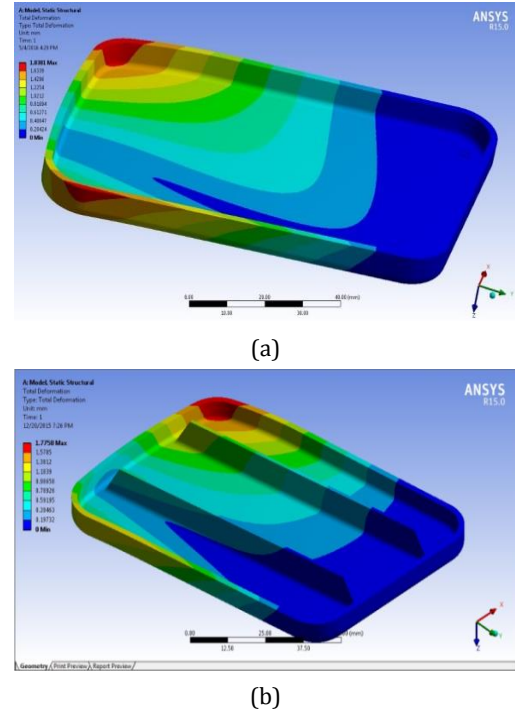
Buna göre, deformasyon oranı %33 azalmaktadır. Yapılan bu analizlere göre en düşük deformasyon miktarı 3.1 mm'den 1.92 mm düşmekte olup federsiz plastik parçaya göre deformasyon oranını %38 azaltmaktadır.

Grafikler incelendiğinde 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 yüksekliğinin artması deformasyon oranını yaklaşık %49 azaltmaktadır. Bu oran mukavemette ciddi bir iyileşme olarak değerlendirilmektedir. Yarıçap değerinin deformasyon oranını artırması sadece federli plastik parçalar kendi aralarında kıyaslandığında elde edilen değişim miktarını vermekte olup en büyük deformasyon oranına sahip federli parça bile federsiz parçadan daha az deforme olmuştur.

3.2 B yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları

Şekil 9'da federsiz ve federli parçada B yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir.



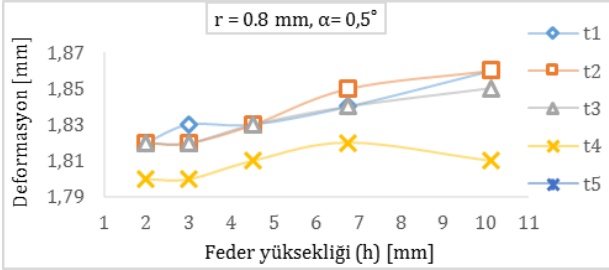
Şekil 9: B yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları. (a): Federsiz plastik parça, (b): Federli plastik parça ($h=10.125$ mm, $r=1.6$ mm, $t=1.35$ mm, $\alpha=0.5^\circ$).

Federsiz parçada B yüzeyinden (kenar) uygulanan basınç sonucu oluşan deformasyon Tablo 5'te 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° 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'ten 1.77 mm'ye düştüğü belirlenmiştir. Yani deformasyon orana yaklaşık %3 azalmaktadır. Deformasyon miktarında ciddi bir azalma olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 5: Federsiz parçada 35 MPa gerilmede oluşan deformasyon değerleri.

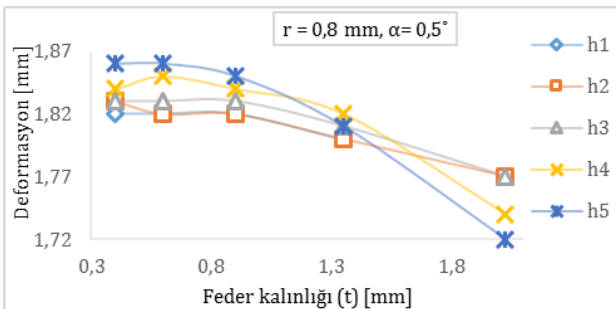
Basınç Uygulanan yüzey	A	B	C	D
Referans gerilme değeri	35	35	35	35
Oluşan deformasyon miktarı, mm	3.10	1.83	3.21	3.08

B yüzeyinden uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4.5; 6.75 ve 10.125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 10'da görülmektedir. Feder $r=0.8$ mm ve $\alpha=0.5^\circ$ 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.



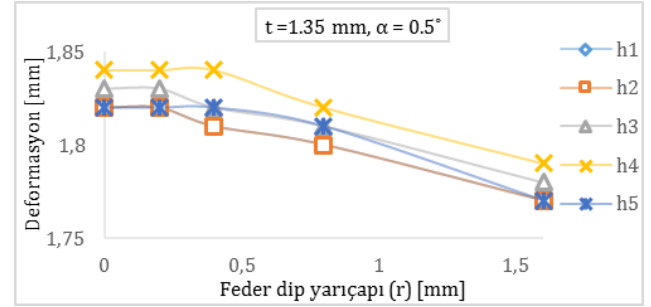
Şekil 10: B yüzeyinde deformasyon feder yüksekliği ilişkisi.

B yüzeyinden uygulanan basınçta farklı yükseklikte federin 0.4; 0.6; 0.9; 1.35 ve 2.025 mm kalınlıklardaki değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 11'de görülmektedir. Bu grafikte feder yarıçapı $r=0.8$ mm ve feder açısı $\alpha=0.5^\circ$ olarak sabit tutulmuştur. B yüzünden uygulanan basınçta kalınlığıyla yüksekliğin artması deformasyon oranını etkilememiştir. Plastik parçada feder parametreleri t_5 kalınlığı ile h_5 yükseklikte olduğunda deformasyon miktarı 1.83 mm'den 1.74 mm'ye düşmüştür yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre %6 azalmaktadır.



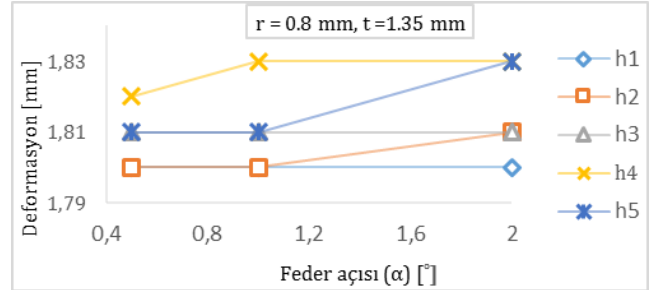
Şekil 11: B yüzeyinde deformasyon feder kalınlığı ilişkisi.

B yüzeyden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0.2; 0.4; 0.8 ve 1.6 mm yarıçaplarında değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 12'de görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla $t=1.35$ mm ve $\alpha=0.5^\circ$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Feder dip kısmındaki radius yarıçapıyla feder yüksekliğin artması deformasyon oranında etkili olmadığı tespit edilmiştir. 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.



Şekil 12: B yüzeyinde deformasyon feder dip yarıçapı ilişkisi.

B yüzeyinden uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0.5° ; 1° ve 2° açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 13'te görülmektedir. Burada yarı çap değeri $r=0.8$ mm ve feder kalınlığı $t=1.35$ mm sabit tutulmuştur. Açılıyla yüksekliğin değişimi deformasyon üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. Buna göre, feder yapısının çok etkili olmadığı ve federsiz parçaya karşılaştırıldığında dikkate değer bir fark olmadığı görülmektedir.



Şekil 13: B yüzeyinde deformasyon feder açısı ilişkisi.

En düşük deformasyon feder parametreleri h_2 , r_1 ve t_4 'te 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 yöntemi ile yapılan analiz grafiğinde elde edilmiş deformasyonundan yaklaşık %5.5 az olduğu 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.

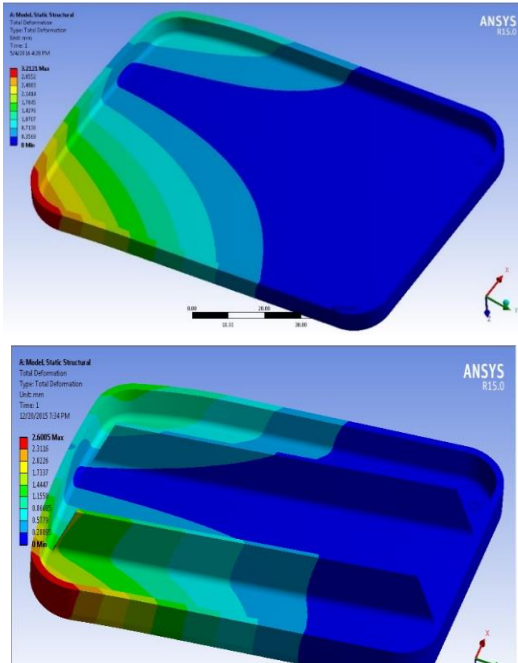
B yüzeyinden uygulanan basınç için oluşan deformasyon miktarları federli parça ile federsiz parça arasında ciddi bir değişim olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda üretilecek plastik parçanın kullanım yerine göre sadece B yüzeyinde bir yük veya kuvvet uygulanacak ise feder yapmanın fazla bir faydası olmadığı ve deformasyon miktarını kayda değer bir oranda iyileştirmede belirlenmiştir. Ancak bu yorum sadece deformasyon miktarı ile ilgilidir. Çünkü, feder yapılıp

yapılmayacağına sadece deformasyon miktarları değil aynı zamanda oluşan gerilme miktarı da dikkate 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.

Yapılan analizlere göre B yüzeyinden uygulanan basınç dikkate alındığında olabilecek en uygun parametrelere sahip tasarımda deformasyon miktarının % 5.5'lik bir oranda iyileşme sağladığı ve gerilmenin de akma dayanımının altında kaldığı bu nedenle %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 kalıplılık açısından maliyetler artacak ve ürünün ağırlığı da gereksiz olarak artmış olacaktır.

3.3 C yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları

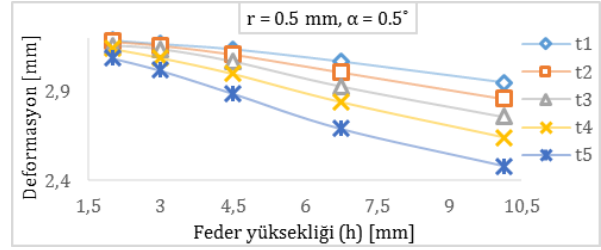
Şekil 14'te verilen resimlerde federsiz ve federli parçada oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçada C yüzeyinden (kenar) uygulanan basınç sonucu oluşan deformasyon Tablo 5'te verildiği gibi 3.21 mm yüksekliği 10.125 mm, yarıçap değerinin 1.6 mm, plastik parça et kalınlığının 1.35 mm ve feder açısının 0.5° 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 14: C yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları.
(a): Federsiz plastik parça, (b): Federli plastik parça
($h=10.125$ mm, $r=1.6$ mm, $t=1.35$ mm, $\alpha=0.5^\circ$).

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 15'te görülmektedir. Kalınlığın artması, deformasyonun azalmasına

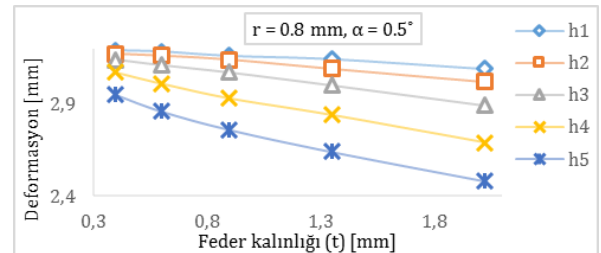
sebepe olmuştur. Federin kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Yükseklik arttıkça kalınlığın etkisi deformasyon üzerinde daha çok olmuştur.



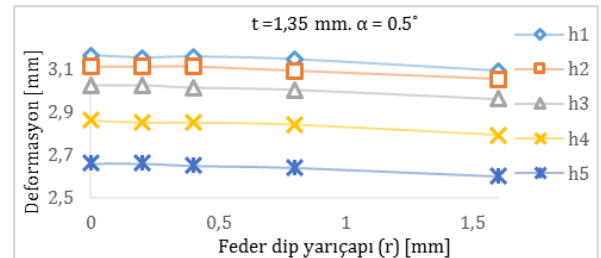
Şekil 15: C yüzeyinde deformasyon feder yüksekliği ilişkisi.

En düşük deformasyon feder parametreleri t_5 ve h_5 olduğunda görülmektedir. Feder yüksekliği h_5 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 oranı elde edildiği tespit edilmiştir. Bu parametrelerde deformasyon oranı federsiz parçaya göre %33 azalmaktadır (3.12 mm'den 2.48 mm'ye düşmüştür).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2; 3; 4.5; 6.75 ve 10.125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 16'da görülmektedir. Federin radüs değeri ve açısı sırasıyla $r=0.8$ mm ve $\alpha=0.5^\circ$ sabit tutulmuştur. Federin Yüksekliğinin artmasıyla deformasyon oranı azalmaktadır. Yükseklik ile deformasyon oranının düşmesi arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Kalınlık değişimi de parçanın deformasyon oranını etkilemektedir, ancak yüksekliğe göre daha az bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. En düşük deformasyon 10.125 mm feder 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 h_5 ve t_5 olduğunda deformasyon 3.21 mm'den 2.48 mm düşerek deformasyon oranı federsiz parçaya göre %23 azalarak iyileşme sağlanmaktadır. C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde federin 0; 0.2; 0.4; 0.8 ve 1.6 mm yarıçaplarında değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 17'de görülmektedir.



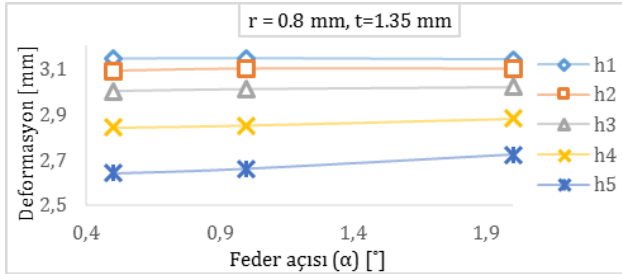
Şekil 16: C yüzeyinde deformasyon feder kalınlığı ilişkisi.



Şekil 17: C yüzeyinde deformasyon feder dip yarıçapı ilişkisi.

Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla $t = 1.35$ ve $\alpha = 0.5^\circ$ olmak üzere sabit tutulmuştur. Yarıçapın değişiminin plastik parçadaki deformasyon oranı üzerinde etkisi çok az olduğundan dolayı yarıçap en büyük değeri ile en küçük değerinin bulunduğu feder tasarımında deformasyon miktarları yaklaşık aynıdır. Feder yüksekliği h_5 olduğunda yarıçapın artması deformasyon miktarının 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 karşılaştırıldığında %19 azalmaktadır (3.21 mm'den 2.6 mm'ye düşmüş).

C yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0.5° , 1° ve 2° açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 18'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. Feder yüksekliği $h = 10.125$ mm olduğunda feder açısının artması deformasyon miktarını 2.64 mm'den 2.72 mm'ye yükseltmekte olup deformasyon oranının %3 artması tespit edilmiştir. En düşük deformasyon feder yüksekliği $h = 10.125$ mm ve feder açısı $\alpha = 0.5^\circ$ olduğunda belirlenmiş. Bu parametrelerde plastik parçadaki deformasyon miktarı 3.21 mm'den 2.64 mm'ye düşmüş yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre %18 azalarak iyileşme gerçekleşmiştir.



Şekil 18: C yüzeyinde deformasyon feder açısı ilişkisi.

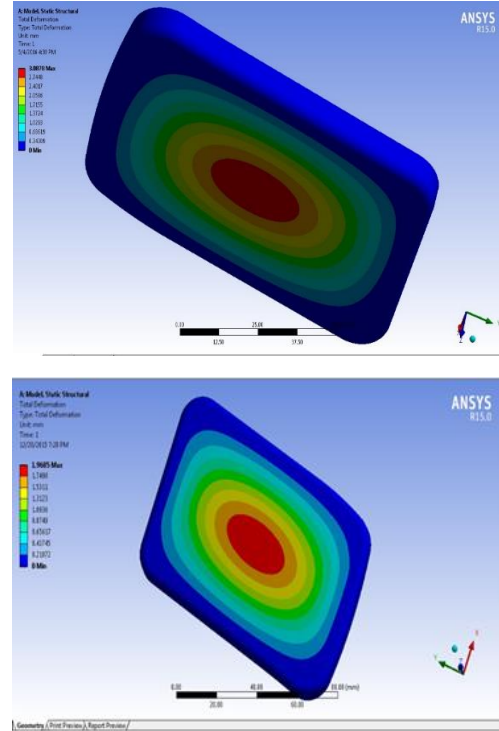
Yapılan bu analizlere göre C yüzeyinde oluşan deformasyon miktarı incelemesine göre uygulanan yükü bağli olarak deformasyon üzerinde en büyük etkiye sahip parametrenin feder yüksekliği olduğu ikinci etken parametrenin feder kalınlığı ve üçüncü parametrenin ise feder diplerindeki yarıçap değerleri olduğu görülmektedir.

Burada deformasyon üzerinde en büyük etki feder yüksekliğinin değişiminde tespit edilmiştir. Yüksekliğin artmasıyla deformasyonun oranında azalma olduğu görülmektedir. Yüksekliğin artması deformasyon oranını yaklaşık %15 oranında azaltmaktadır. Feder diplerindeki radius yarıçapının değişimi parçanın deformasyonunda etkisi az olsa da artması deformasyon oranını artmaktadır. Yarıçap az olduğunda en düşük deformasyon oranı elde edilmiştir. En çok artış r_3 te tespit edilmiştir. Yarıçapın artması deformasyon oranını yaklaşık %2.5 artmaktadır. Üçüncü grafiğin incelenmesinde kalınlığın deformasyon oranında etkili olduğu görülmektedir. Buna göre, kalınlığın artmasıyla deformasyon oranı azalmaktadır. Ayrıca, kalınlık ile deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. En düşük

deformasyon en yüksek kalınlıkta bulunmaktadır. Kalınlığın artması federin deformasyonunu en fazla %10 oranında azaltmaktadır.

3.4 D yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları

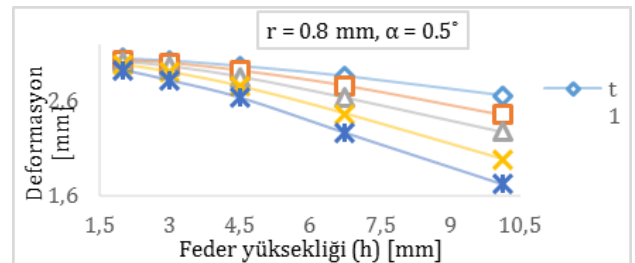
Şekil 19'da verilen resimlerde federsiz ve federli parçadaki oluşan deformasyon miktarları ve deformasyon analiz görüntüleri verilmiştir. Federsiz parçadaki basınç uygulanan yüzeyde akma dayanımına denk gelen 35 MPa'lık gerilmenin oluştuğu deformasyon miktarı federli yapı kullanıldığında 3.21 mm'den 1.96 mm'ye düşmektedir. Deformasyon oranının ise %39 azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 19: D yüzeyinde oluşan deformasyon miktarları.

(a): Federsiz plastik parça, (b): Federli plastik parça, ($h = 10.125$ mm, $r = 1.6$ mm, $t = 1.35$ mm, $\alpha = 0.5^\circ$).

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı kalınlıklarda federin 2 ; 3 ; 4.5 ; 6.75 ve 10.125 mm yüksekliklerde değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 20'de görülmektedir.

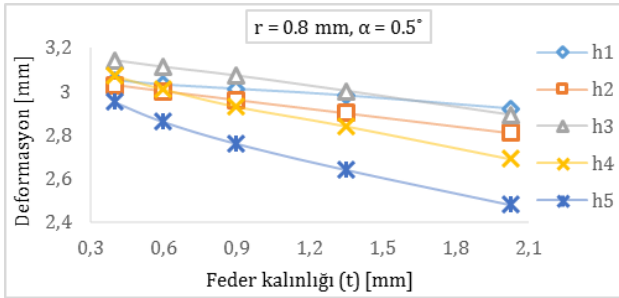


Şekil 20: D yüzeyinde deformasyon feder yüksekliği ilişkisi.

Federin radius değeri $r = 0.8$ mm ve açısı $\alpha = 0.5^\circ$ olarak sabit tutulmuştur. Federin yüksekliğinin artmasıyla deformasyon miktarı azalmaktadır. Yükseklik ile 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

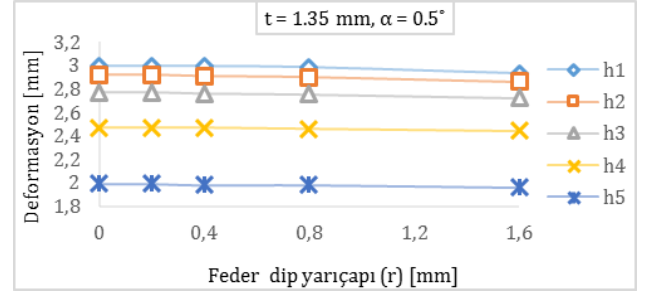
deformasyon feder parametreleri h5 yüksekliği ve t5 kalınlığında meydana gelmektedir, t5 kalınlığında yüksekliğin artması deformasyon miktarı 2.92 mm'den 1.72 mm'ye düşürerek, deformasyon oranını %41 oranında azaltmaktadır. Yani plastik parçada federin yüksekliği et kalınlığının 5 katı ve feder kalınlığı et kalınlığıyla eşit olduğunda deformasyon oranının %41 azalmıştır. Ayrıca feder parametreleri h5 yükseklikte ve t5 kalınlığında olursa, plastik parçanın deformasyonu oranı federsiz parçaya göre %44 azalmaktadır (3.08 mm'den 1.72 mm'ye düşmüştür).

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 21'de görülmektedir. Kalınlığın artması, deformasyonun azalmasına sebep olmuştur. Feder kalınlığının artmasıyla deformasyon miktarında azalma görülmektedir. Feder kalınlığıyla deformasyon arasında doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Feder yüksekliği arttıkça feder kalınlığının deformasyon oranı üzerindeki etkisinin daha çok olduğu ve en düşük deformasyon en yüksek kalınlık ve yükseklikte görülmektedir. Feder yüksekliği h5 olduğunda feder kalınlığının artması deformasyon oranını yaklaşık %30 azaltmaktadır. Yani plastik parçada feder kalınlığı plastik parça et kalınlığıyla eşit ve yükseklik plastik parça et kalınlığının 5 katı olduğunda deformasyon miktarı 2.65 mm'den 1.72 mm'ye düşerek deformasyon oranı %30 azalmaktadır. Feder parametreleri t5 ve h5 olduğunda plastik parçanın deformasyon miktarı 3.08 mm den 1.72 mm düşmüş yani deformasyon oranı federsiz parçaya göre %43.5 azalmaktadır.



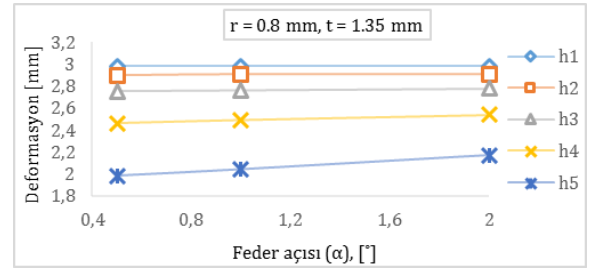
Şekil 21: D yüzeyinde deformasyon feder kalınlığı ilişkisi.

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 22'de görülmektedir. Burada, feder kalınlığı ve feder açısı sırasıyla t=1.35 ve α=0.5° olmak üzere sabit tutulmuştur. Feder yarıçapının değişimi plastik parçada oluşan deformasyon üzerindeki 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).



Şekil 22: D yüzeyinde deformasyon feder dip yarıçapı ilişkisi.

D yüzeyine uygulanan basınçta farklı yüksekliklerde feder 0.5°; 1° ve 2° açılarda değişiminin deformasyon oranının üzerinde etkisi Şekil 23'te 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 yüksekliğin artmasıyla deformasyon oranı %33 azaltmaktadır (2.98 mm'den 1.98 mm'ye düşmüştür).



Şekil 23: C yüzeyinde deformasyon feder açısı ilişkisi.

Plastik parçada oluşan 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 23'te 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 olsa da artması deformasyon oranını artmaktadır. Yarıçap az olduğunda en düşük deformasyon görülmektedir. En çok artış yarıçap r3'te yani r=0.4 mm'de olduğunda tespit edilmiştir. Federin yarıçapının artması deformasyon oranını yaklaşık %3.5 artırmaktadır. Şekil 21'de görüldüğü gibi feder kalınlığının deformasyon oranı üzerinde önemli oranda etkili olduğu görülmektedir. Plastik parçada kalınlığının 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 oranında azaltmaktadır. En düşük deformasyon değeri feder parametreleri h5, r1 ve t5 olduğu tasarımda elde edilmiştir. 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. Deformasyon oranındaki bu azalma dikkate alındığında mukavemette önemli derecede artış sağlandığını görülecektir.

4 Tartışma

Deformasyon analizine göre federli ve federsiz plastik parçada deformasyon 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 değişmesinin ise feder yapısına göre değiştiği düşünülmektedir. Bir plastik ürünün mukavemeti deformasyon dağılımı ve şekline değil deformasyon 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 Tablo 6'da verilmiştir.

Federli parçada A yüzeyinden uygulanan basınçta en düşük deformasyon federin $h=10.125$ mm, $r=0.8$ mm, $t=0.9$ mm ve $\alpha=2^\circ$ olduğu tasarımda deformasyon miktarının 1.75 mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, en yüksek deformasyon oranı ise $h=2$ mm, $r=0.4$ mm, $t=0.6$ mm ve $\alpha=0.5^\circ$ olduğu tasarımda 3.07 mm olduğu tespit edilmiştir. Federlerin etkisiyle plastik parçadaki deformasyon oranlarında %44.5 ile %1 aralığında azalma olduğu görülmektedir.

Elde edilen en düşük ve en yüksek deformasyon değerlerinde oluşan gerilme değerinin sırasıyla 31.81 MPa ve 36.03 MPa'da olduğu belirlenmiştir. En düşük deformasyonda gerilme oranı %9 azalmakta ve en yüksek deformasyonda ise 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 $h5$, $r4$, $t5$, ve $\alpha1$ sıralamasında verilen parametrelere göre tasarlanan plastik parçada olduğu belirlenmiştir.

B yüzeyinden uygulanan basınç için feder tasarımında kullanılan parametreler ile elde edilen en düşük deformasyon oranları parametrik tasarımda $h5$, $r4$, $t5$, $\alpha1$ ve verilen $h5$, $r2$, $t2$ ve $\alpha2$ kodlu tasarımda olduğu tespit edilmiştir. Buna göre federlere bağlı olarak plastik parçanın deformasyon oranlarında %6 azalma ve %1.1'de artış olduğu tespit edilmiştir.

Normal şartlarda federler mukavemeti artırmak için uygulanmaktadır. Bu bağlamda federin plastik parçanın deformasyonunu artırmış olması beklenen bir durum değildir. Ancak uygulanan basınç karşısında zayıf yapıli 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 36.34 MPa' 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. Buna göre feder için kullanılan bazı parametre değerlerinde plastik parçanın mukavemetine katkı sağlamadığı gibi negatif etkisi de olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz sonucuna göre plastik parçanın mukavemetini artırmak için yapılan feder uygulamalarında feder parametrelerinin iyi ayarlanması gerektiği aksi takdirde mukavemette istenilen iyileştirmelerin elde edilemeyeceği hatta parça mukavemetinin olumsuz olarak ta etkileyebileceği anlaşılmaktadır.

C yüzeyinden uygulanan basınçta en düşük deformasyon (Tablo 6) $h5$, $r4$, $t5$, ve $\alpha1$ tasarımında 2.48 mm ve en yüksek deformasyonsa $h1$, $r1$, $t1$, ve $\alpha1$ tasarımında 3.2 mm olarak gerçekleşmiştir. C yüzeyinden uygulanan basınç dikkate alındığında deformasyon oranının %22.5 ile %0.32 oranında azaldığı tespit edilmiştir. C yüzeyine uygulanan basınçta deformasyon oranındaki artışın 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. Bu sonuca göre parça mukavemetinde iyileştirme yapması beklenen federlerin farklı açılardan yapılan yüklemelere göre negatif etkiye de sahip olabileceği anlaşılmaktadır.

D yüzeyinden uygulanan basınç ile yapılan analizlerde en düşük deformasyon 1.72 mm ve en yüksek deformasyon ise 3.17 mm olarak belirlenmiştir. En düşük deformasyon $h5$, $r4$, $t5$ ve $\alpha1$ değerlerinin kullanıldığı tasarımda gerçekleşmiş iken en yüksek deformasyon ve $h2$, $r1$, $t1$ ve $\alpha1$ ile tanımlanmış tasarımda gerçekleşmiştir. Buna göre D yüzeyinde uygulanan basınç için yapılan analizlerde federlerin deformasyon miktarını %44.5'e kadar azalttığı belirlenmiştir. Bu oran oldukça iyi sayılabilecek bir oran olup kullanılan feder parametresine bağlı olarak plastik parça mukavemetinde ciddi iyileştirmeler sağladığını göstermektedir. Bazı tasarımlarda ise %3 oranında deformasyon miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Yani mukavemete negatif etki ettiği belirlenmiştir. 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 kritik olduğu arka yüzeyden uygulanan basınç ile yapılan analizlerde en düşük deformasyon oranının gerçekleştiği analizde elde edilen gerilme değeri %38.7 azalırken deformasyonun en yüksek çıktığı analizde ise gerilme değerinin %2 arttığı belirlenmiştir.

Tablo 6: Federli plastik parçada tespit edilen en büyük ve en küçük deformasyon miktarları.

Basıncı Uygulandığı 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

Gerçekleştirilen bu çalışmada, 345 farklı tasarım için yapılan analiz sonuçlarının en büyük ve en küçük değişim miktarları Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre, deformasyon miktarındaki değişimin en yüksek olduğu basınç yüzeyin D yüzeyinde gerçekleştiği ve değişim miktarının %44.2 olduğu belirlenmiştir. D yüzeyden yapılan analizlerde deformasyon oranında %44.2'lik azalma olurken farklı feder parametrelerine bağlı olarak deformasyon oranında %2.9'luk artışın da olduğu tespit edilmektedir. Deformasyondaki değişimin en fazla olduğu ikinci basınç yüzeyi ise A yüzeyidir. Bu yüzeydeki deformasyon miktarı azalmanın en büyük %43.5 oranında en düşük ise %1 oranında olduğu görülmektedir. A yüzeyinden uygulanan basınçlarda federin deformasyon üzerinde olumsuz herhangi bir etkisi tespit edilmemiştir. Deformasyon miktarındaki en düşük değişimin B yüzeyinde uygulanan basınç sonucu olduğu 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 federlerin deformasyon üzerinde etkisinin az olduğu tasarımlarda bile gerilmelerde düşüşler olması dikkate alındığında federlerin parça mukavemetine olumlu etkisinin göz ardı edilemez olduğu anlaşılmaktadır.

Feder yüksekliğinin artması deformasyon oranını yaklaşık %49 azalarak mukavemette olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde feder kalınlığı deformasyon miktarını %44 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Feder diplerindeki radius yarıçapının değişimi parçanın deformasyonunda az da olsa artışa sebep olmuştur. Yani olumsuz yönde etkiye sahip olmuştur. Yarıçap değerinin deformasyon oranını artırması sadece federli plastik parçalar kendi aralarında kıyaslandığında elde edilen değişim miktarını vermekte olup en büyük deformasyon oranına sahip federli parça bile federsiz parçadan daha az deforme olmuştur.

5 Kaynaklar

[1] Lam YC, Santhikumar S. "Automated rib location and optimization for plate structures". *Structural and multidisciplinary optimization*, 25(1), 35-45, 2003.

- [2] Yang SY, Lin CT, Chang JH. "Secondary gas penetrations in ribs during full-shot gas-assisted injection molding". *Advances in Polymer Technology*, 22(3), 225-237, 2003.
- [3] Manaf ARA, Zawawi MZ, Adly NZI. "Thin walled part warping overcoming by honeycomb ribs design". *In Advanced Materials Research*, 903, 181-186, 2014.
- [4] Guo W, Hua L, Mao H. "Minimization of sink mark depth in injection-molded thermoplastic through design of experiments and genetic algorithm". *The International Journal of Advanced Manuf. Techn*, 72(1-4), 365-375, 2014.
- [5] Lan T, Chiu MC Yeh, LJ. "An approach to rib design of injection molded product using finite element and Taguchi method". *Information Technology Journal*, 7(2), 299-305, 2008.
- [6] Erzurumlu T, Ozcelik B. "Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method". *Materials and Design*, 27(10), 853-861, 2006.
- [7] James P, Krishna DM, Kotresh G, Varughese B. "Finite element analysis of inter spare ribs of composite wing of light transport aircraft against brazier load". *National Conference on Scientific Achievements of SC and ST Scientists and Technologists*, Bangalore, Bangalore, India, 14-16 April 2009.
- [8] Mathivanan D, Nouby M, Vidhya R. "Minimization of sink mark defects in injection molding process-Taguchi approach". *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(2), 13-22, 2010.
- [9] Chung J, Lee K. "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, 1997.
- [10] Khazad F. Feder Parametrelerinin Plastik Parça Mukavemeti Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2017.