



## Formula SAE Aracında Ağırlık Azaltılmasına Yönelik Fren Pedalının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Optimum Tasarımı

### Optimum Design Of Brake Pedal Using Topology Optimization Method Intended For Weight Reduction On The Formula SAE Car

Emre İsa Albak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü 16059 Bursa, TURKEY

**Başvuru/Received:** 03/10/2018

**Kabul/Accepted:** 19/12/2018

**Son Versiyon/Final Version:** 31/01/2019

#### Öz

Bu çalışmada Formula SAE (Society of Automotive Engineers) aracı için parça ağırlıklarının azaltılması amacıyla, karşılanabilir maliyetler dahilinde fren pedalı yapısal optimizasyonu yapılmıştır. Fren pedalları Formula SAE yarışması komitesinin belirlediği kurallara uygun olarak tasarlanmaktadır. Fren pedalı tasarımında ilk olarak hafifliği, mekanik özellikleri ve maliyet avantajı nedeniyle malzeme olarak alüminyum 7075-T6 seçilmiştir. Fren pedalında en iyi tasarımı ortaya koyabilmek için topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Topoloji optimizasyonunda malzeme dağılımı yöntemi seçilmiştir. Topoloji optimizasyonu ilk adımı olarak ilk tasarım üzerinden tasarım hacmi oluşturulmuş ve tanımlamalar yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu için tasarım değişkeni olarak boşalma istenilen bölgeler, kısıt olarak gerilme ve optimizasyon amacı olarak ise ağırlık belirlenmiştir. Yapılan topoloji optimizasyonu ve üretim kısıtları dahilinde yeni fren pedalı tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan fren pedalı tasarımı ilk tasarıma göre % 11 daha hafiftir. Amacı araç ağırlığının azaltılması olan bu çalışmada, öncelikli hedef hafifletme olduğu için maliyet artış yüzdesi ihmal edilebilir olarak kabul edilmiştir. Mukavemet açısından istenilen değerler içinde kalınmıştır, gerilme değerinde %6 oranında artış olsa da bu değer kısıt değerlerinin çok altında kalmaktadır. Aynı zamanda yer değiştirme değeri de %5 oranında azalmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

*“Formula SAE, Araçta ağırlık azaltılması, Topoloji optimizasyonu, Alüminyum alaşım 7075-T6”*

#### Abstract

In this study, structural optimization of a brake pedal is carried out to reduce the component weights for the Formula SAE (Society of Automotive Engineers) vehicle, with neglectable costs. Brake pedals are designed to comply with the rules set by the Formula SAE competition committee. In the brake pedal design, aluminium 7075-T6 material is chosen because of its lightweight, mechanical properties and cost advantage. Topology optimization has been done to provide the best design of the brake pedal. The material distribution method is chosen in topology optimization. As the first step of topology optimization, the design volume is created and optimization conditions are defined. For the topology optimization, the design area is the design variable, stress is constraint, and weight is the objective of optimization is defined. New brake pedal design has been created within topology optimization and production constraints. The new design is 11% lighter than the first design. For the purpose of reducing the vehicle weight, the cost increase rate is regarded as compensable because the weight reduction is the priority criterion. Although the stress value is increased by 6%, this value is much lower than the constraint value and strength is in the desired values. At the same time, the displacement value decreased by 5%.

#### Key Words

*“Formula SAE, Weight reduction on the vehicle, Topology optimization, Aluminium alloy 7075-T6”*

## 1.GİRİŞ

Araç tasarımında hafiflik; performans ve verimliliği artırmak için en önemli unsurlardandır. Tasarımcılar daha hafif araç parçaları tasarlayabilmek için düşük yoğunluklu ve yüksek dayanıma sahip malzeme seçimi yapmakta, parçanın üzerinde tasarımsal değişikliklere gitmekte ve optimizasyon çalışmalarına yönelmektedirler. Malzeme seçimi konusunda her geçen gün yeni teknolojiye sahip malzemeler ortaya çıkmasına rağmen maliyet, fonksiyonellik, kolay erişim, işlenebilirlik gibi bazı etmenler yeterli gelmemekte ya da regülasyonlar bu malzemelerin kullanımına izin vermemektedir. Bu nedenle tasarımcılar maliyetin tolere edilebileceği ve regülasyonların izin verdiği en uygun malzemeyi seçmeye çalışmaktadırlar. Tasarımsal değişiklikler parçayı iyileştirmek için tasarımcıların ilk tercih ettiği çalışmadır. Bunun dışında tasarım çalışmalarında son yıllarda topoloji optimizasyonu da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv sanayisinde birçok malzeme kullanılmasına rağmen en yaygın olarak kullanılanları çelik ve alüminyumdur. Alüminyum ağırlıkça hafif olup, alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemete sahiptir (Sekmen et al. 2015). Alüminyum alaşımları hafifliğinin yanı sıra üstün mekanik özellikleri sayesinde birçok sanayinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır (Pul, 2017). Ayrıca alüminyum alaşımları maliyet, işlenebilirlik, korozyon direnci ve geri dönüşüm yönünden avantajları, hızla gelişmekte olan otomotiv endüstrisinde kullanımının sürekli olarak daha da artmasını sağlamıştır (Başer, 2013).

Topoloji optimizasyonu, parça hafifletme çalışmalarında tasarımcıların faydalandığı önemli tekniklerden birisidir. Topoloji optimizasyonunun amacı parça için en iyi malzeme kullanımının bulunmasıdır (Yıldız et al. 2004). Topoloji optimizasyonu ağırlığı azaltırken dayanımı ya da doğal frekansı maksimum olan parça için malzeme dağılımını ayarlamaktadır. Topoloji optimizasyonunun tasarımcılar tarafından tercih edilmesinin en önemli nedeni, optimum yapının henüz tasarım aşamasındayken ortaya koyulmasıdır.

Topoloji optimizasyonu, otomotiv sanayisinde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. (Chiandussi et al. 2004), bir arka süspansiyon alt çerçevesinin yapısal performansını iyileştirmek için topoloji optimizasyonunu kullanmıştır. (Yıldız et al. 2004) motor takoz braketini üzerine yaptıkları topoloji optimizasyonu çalışmasında braket ağırlığını azaltırken doğal frekans değerini arttırmışlardır. (Cavazzuti et al.2011), çalışmalarında araç şasisi üzerinde topoloji optimizasyonu, topometri optimizasyonu ve boyut optimizasyonunu uygulanmıştır. (Lee 2013) çalışmalarında, enerji sönümlemesini en üst düzeye çıkarmak için topoloji optimizasyonunu kullanarak araç çarpma kutusunun kesitini belirlemek için eşdeğer statik yükler yöntemini kullanmıştır. (Öztürk, Şendeniz 2014) otobüs yolcu koltuk ayağı üzerine yaptıkları çalışmada %20,5'lik bir ağırlık azaltması sağlarken gerekli dayanım şartlarını korumuşlardır. (Chao, 2015) topoloji optimizasyonunu tüm dayanım şartlarını sağlarken ağırlığı en aza indirmek için motor kızıağı tasarımı üzerine uygulamıştır.

Formula SAE yarışmaları 13 farklı ülkede ve 500 den fazla üniversite takımının katıldığı Dünya'nın en önemli mühendislik yarışmalarından biridir (Albak et. Al, 2018). Bu yarışmalarda öğrenciler tek kişilik bir yarış aracı tasarlayarak üretirler. Yarışma kapsamında öğrenciler statik ve dinamik etkinlikler olmak üzere 2 farklı kategoride değerlendirilirler. Statik etkinlikler, tasarım, fiyat analizi ve iş sunumundan; dinamik etkinlikler ise ivmelenme, dayanıklılık, skid pad ve autocross testlerinden oluşmaktadır.

Bu çalışmada araç ağırlığının azaltılması amacıyla, yarışma kurallarına uygun olarak alüminyum malzeme kullanılarak bir Formula SAE aracı fren pedalının tasarım süreci anlatılmıştır. Çalışmada kuralları sağlayan en hafif fren pedalı tasarımını oluşturmak için topoloji optimizasyonu uygulanmıştır.

## 2. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

Tasarımcılar, tasarım yaparken tecrübelerini ve daha önce yapılan benzer tasarımları baz almaktadırlar. Bu şekilde elde edilen tasarımlar çoğunlukla en verimli tasarım olmamakta ve tasarımın geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle tasarımcılar oluşturdukları temel tasarımın ardından optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır.

Optimizasyon bir problemin belirlenen tasarım değişkenlerini değiştirerek tasarım kısıtları ve amaç fonksiyonu dahilinde eniyileme çalışmasıdır. Yapısal olarak en çok kullanılan optimizasyon tekniklerinden birisi topoloji optimizasyonudur. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve işlemci güçleri topoloji optimizasyonunun gelişmesine ve daha fazla kullanılmasına katkıda bulunmuştur.

Topoloji optimizasyonu, tasarım hacmi içerisinde bulunan elemanların dağılımını belirlenen kısıtlar çerçevesinde düzenleyerek ağırlığı azaltırken dayanımı veya doğal frekansı arttırmaktadır. Topoloji optimizasyonunda homojenleştirme metodu ve yoğunluk metodu olmak üzere iki farklı metod elemanların dağılımını belirlemek için kullanılmaktadır (Yıldız, 2017). Yoğunluk metodu 1993 yılında Yang ve Chuang tarafından ortaya koyulmuştur (Yang, Chuang, 2013). Diğer metod olan homojenleştirme metodu ise Bendsoe ve Kikuchi tarafından 1998 yılında ortaya koyulmuştur (Bendsoe, Kikuchi, 2018). Bu çalışmada kullanılan sonlu elemanlar çözücüsü olan Optistruct, optimizasyon problemlerini malzeme dağılımı olarak bilinen yoğunluk metodunu kullanarak çözmektedir.

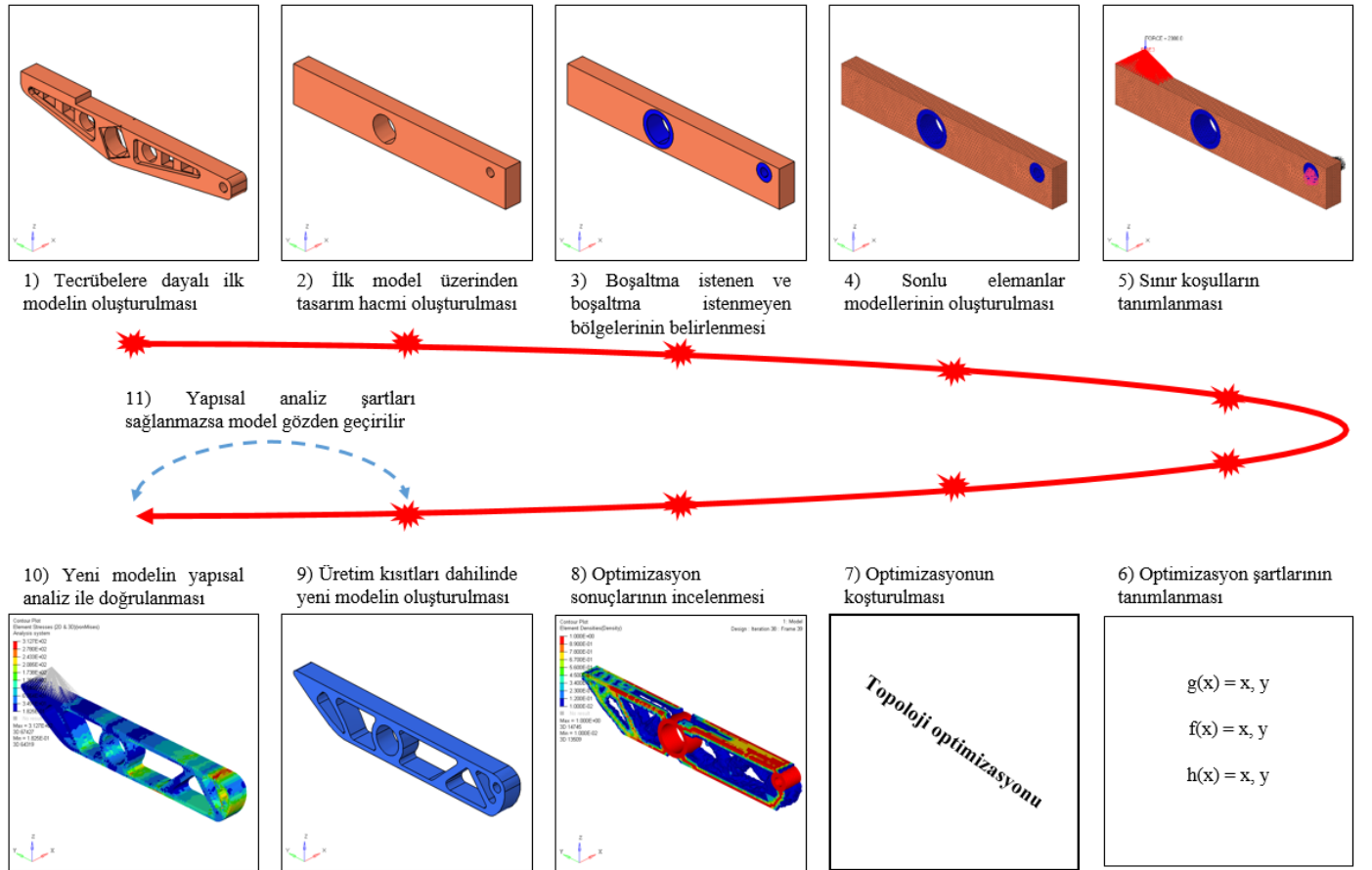
Malzeme dağılım yönteminde, bir geçici malzeme yoğunluğu tasarım değişkenidir ve bu nedenle genellikle yoğunluk yöntemi olarak da adlandırılır. Malzeme yoğunluğu 0 ile 1 arasında değişmekte olup, 0, boşaltılacak durum ve 1 boşaltma olmayacak

durumu temsil etmektedir. Yöntem rijitlik-yoğunluk arasındaki yoğunluğun 0-1 arasındaki değişimi tanımlamak için aşağıdaki ifadeyi kullanmaktadır (Optistruct, 2017):

$$\tilde{K}(\rho) = \rho^p K \quad (1)$$

Burada  $\tilde{K}$  elemanın cezalandırılmış rijitlik matrisi, 'K' elemanın gerçek rijitlik matrisi, 'p' yoğunluk ve 'p' ise penaltı katsayısıdır (her zaman  $K>1$ ).

Topoloji optimizasyonu ilk tasarımın oluşturulmasından optimum tasarıma kadar bir dizi işlemden oluşmaktadır. Tasarımcılar ilk olarak kendi bilgi birikimi ve tecrübeleri dahilinde parçanın çalışma koşullarını, bağlantı noktalarını ve dayanım şartlarını göz önünde bulundurarak ilk tasarımı oluştururlar. Topoloji optimizasyonunda ilk adım tasarımcıların kendi tecrübeleriyle oluşturdukları tasarım üzerinden tasarım hacminin oluşturulmasıdır. Tasarım hacmi üzerinde topoloji optimizasyonunun uygulanacağı boşaltma istenen ve topoloji optimizasyonunun uygulanmayacağı boşaltma istenmeyen bölgeler belirlenir. Boşaltma istenen ve boşaltma istenmeyen bölgelere ayrılmış olan tasarımın sonlu elemanlar modeli oluşturulur. Sonlu elemanlar modeline parçanın çalışma koşullarındaki sınır şartları uygulanır. Tasarımdan beklenen dayanım şartları ve amaç, topoloji optimizasyonu için amaç fonksiyonu ve tasarım kısıtları olarak belirlenir ve topoloji optimizasyonu çalıştırılır. Optimizasyon sonucunda, optimizasyon kısıtları ve amaç fonksiyonuna bağlı olarak eleman yoğunlukları görüntülenir. Optimum şekil, üretim kısıtları gözetilerek eleman yoğunlukları üzerinden yeniden tasarlanır. Oluşturulan tasarım üzerine tasarım için belirlenen şartlar tekrar uygulanarak optimum şeklin şartları sağlayıp sağlamadığı incelenir. Eğer şartlar sağlanıyorsa nihai tasarım elde edilmiştir aksi takdirde tasarım gözden geçirilerek yeniden oluşturulur. Yukarıda anlatılan fren pedalı optimizasyon süreci Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Topoloji optimizasyonu süreci

### 3. FREN PEDALI MALZEME SEÇİMİ

Formula SAE aracı fren pedalı, çelik, alüminyum, işlenmiş çelik ya da titanyum malzeme ile yapılmalıdır (SAE, 2017). Kurallar nedeniyle fren pedalı malzeme seçimi için alüminyum ve çelik malzemeler üzerinde durulmuştur. Fren pedalı için kullanılacak malzemeden beklenen özellikler hafiflik, yüksek mukavemet ve işlenebilirliktir. Bu özellikler göz önüne alındığında alüminyum alaşımlar hafifliği nedeniyle çelik malzemelerden daha avantajlı olmaktadır.

Alüminyumlar ısı işlem uygulanabilir ve uygulanamayan olmak üzere iki gruba ayrılırlar, ısı işlem uygulananlar 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımlarıdır (Başer, 2013). 7XXX serisi alüminyum alaşımları, ısı işlem uygulanan arasından en

yüksek mukavemet sahip olanlardır. Bu özellikleri nedeniyle Formula SAE aracı fren pedalı tasarımında 7XXX serisi alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

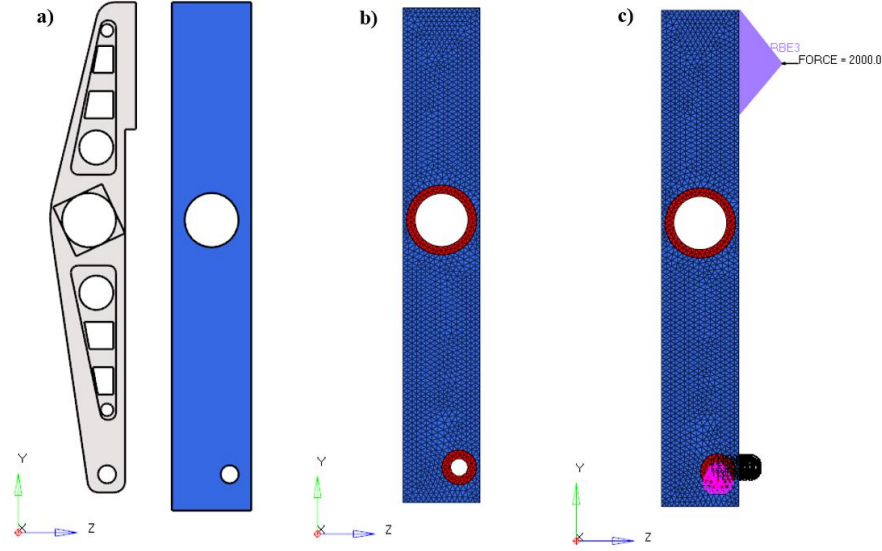
Bu çalışmada 7075 serisi, çözeltiliye alınmış ve suni yaşlandırma yapılmış olan T6 tipi ısıtma işlemi uygulanmış 7075-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. T6 ısıtma işlemi alüminyum alaşımlarda sertliği arttırmak için uygulanır.

#### 4. FREN PEDALI TOPOLOJİ TASARIM OPTİMİZASYONU

Formula SAE aracında kullanılacak fren pedalı mümkün olduğunca hafif olmalı ve kurallarda belirtilen dayanım şartlarını sağlamalıdır. Fren pedalı, fren sistemi veya pedal kutusu arızası olmaksızın 2000 N'luk bir kuvvete dayanacak şekilde tasarlanmalıdır (SAE, 2017). Bu kural çerçevesinde çalışmada gerekli dayanım şartlarını sağlayan en hafif fren pedalı için topoloji optimizasyonu çalışılmıştır. Topoloji optimizasyonunda sonlu elemanlar modelleri için HyperMesh, topoloji optimizasyonunda Optistruct ve sonuçları incelemek için ise HyperView programları kullanılmıştır (S-t, 2018).

Topoloji optimizasyonunda ilk olarak tasarımcılar tarafından tasarlanan ilk tasarım üzerinden tasarım hacmi oluşturulmuştur [Şekil 2a]. Tasarım hacminde boşaltma istenen bölgeler (mavi) ve boşaltma istenmeyen bölgeler (kırmızı) belirlenmiştir [Şekil 2b]. Ortalama eleman boyu 3 mm olan üç boyutlu, 4 düğüm noktalı tetra eleman tipi ile modellenen fren pedalı 38789 adet eleman 8963 adet düğüm noktasından oluşmaktadır. Fren pedalı malzemesi için 'MAT1' isimli malzeme kartı tanımlanmıştır. MAT1 malzeme kartı izotropik malzemeler için kullanılmaktadır (Optistruct, 2017). 'MAT1' malzeme kartına girilmesi gereken Poisson oranı, Elastisite modülü ve yoğunluk değerlerinin yanı sıra topoloji optimizasyonunda kısıt olarak kullanılacak akma gerilmesi değeri Tablo 1'de verilmiştir.

Kurallarda belirtilen 2000 N'luk kuvvet pedala '-Z' yönünde RBE3 tipi elemanın bağımsız düğüm noktasından uygulanmıştır. RBE3 tipi elemanlar bağımsız düğüm noktasına uygulanan kuvveti kollarının uzunluğuna bağlı olarak bağımlı düğüm noktalarına oranlayarak aktarmaktadır. Fren pedalı alt delikten araç tabanına bağlandığı için delik çevresindeki ve delik boyunca bütün düğüm noktalarını sabitlemiştir.



**Şekil 2.** Topoloji optimizasyonu sınır şartları belirleme, a) İlk tasarım (gri parça) ve tasarım hacmi, b) Boşaltma istenen ve boşaltma istenmeyen bölgeler, c) Fren pedalı yapısal analizi sınır şartları

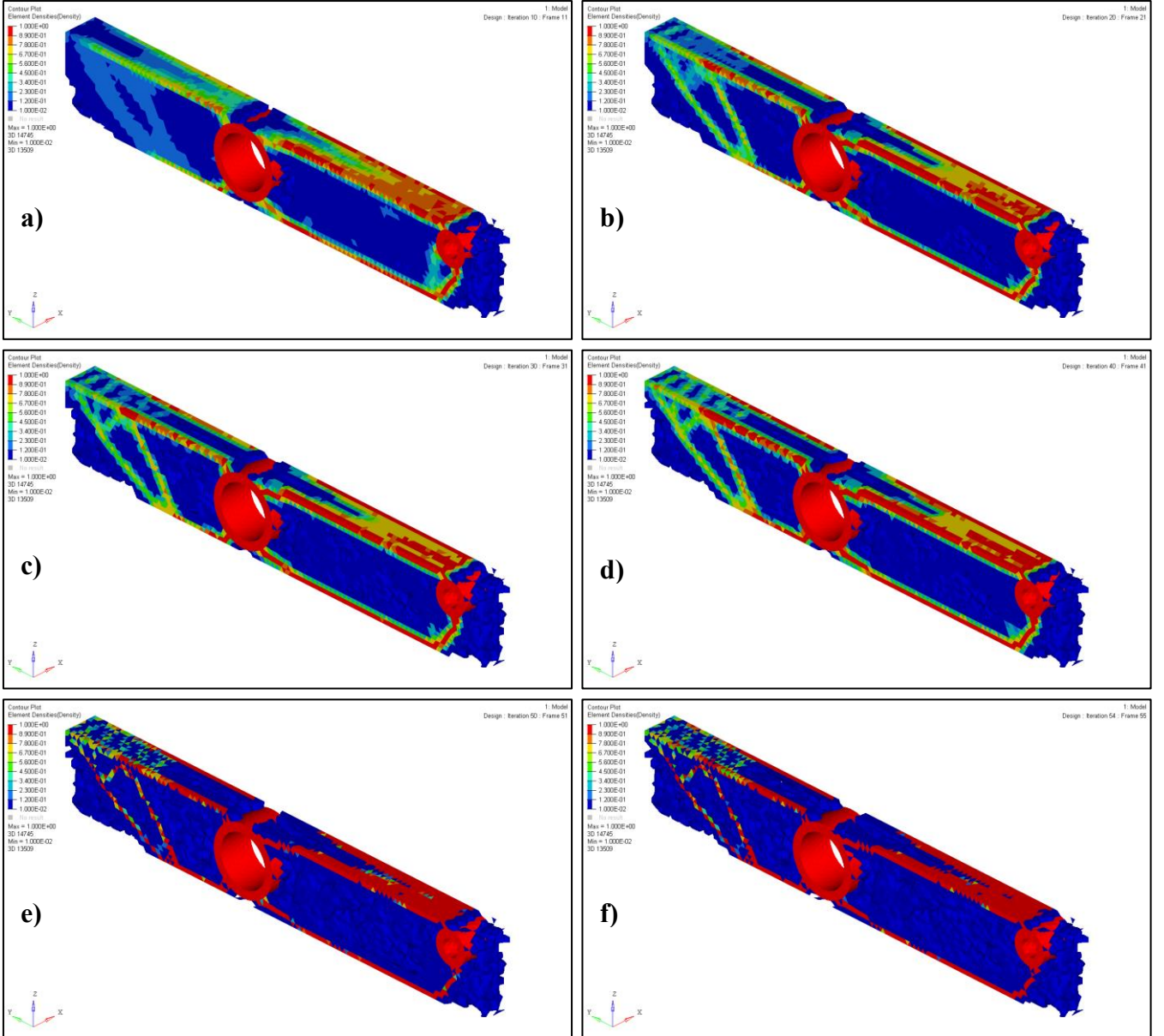
Topoloji optimizasyonunun doğru bir sonuç verebilmesi için tasarım değişkeninin, kısıtların ve optimizasyonun amacının doğru olarak tanımlanması gerekir. Fren pedalı topoloji optimizasyonu çalışmasında tasarım değişkeni olarak boşaltma istenen bölgeler, kısıt olarak 7075-T6 serisi alüminyum alaşımın akma gerilmesinde emniyetli olarak daha az olacak şekilde belirlenen 400,00 MPa gerilme değeri ve optimizasyon amacı olarak ise ağırlık azaltma olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1.** 7075-T6 serisi alüminyum alaşım mekanik özellikleri

Elastisite Modülü (GPa)	Poisson oranı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Akma gerilmesi (MPa)
70.00	0.33	2.80	460.00

## 5. FREN PEDALI TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU SONUÇLARI

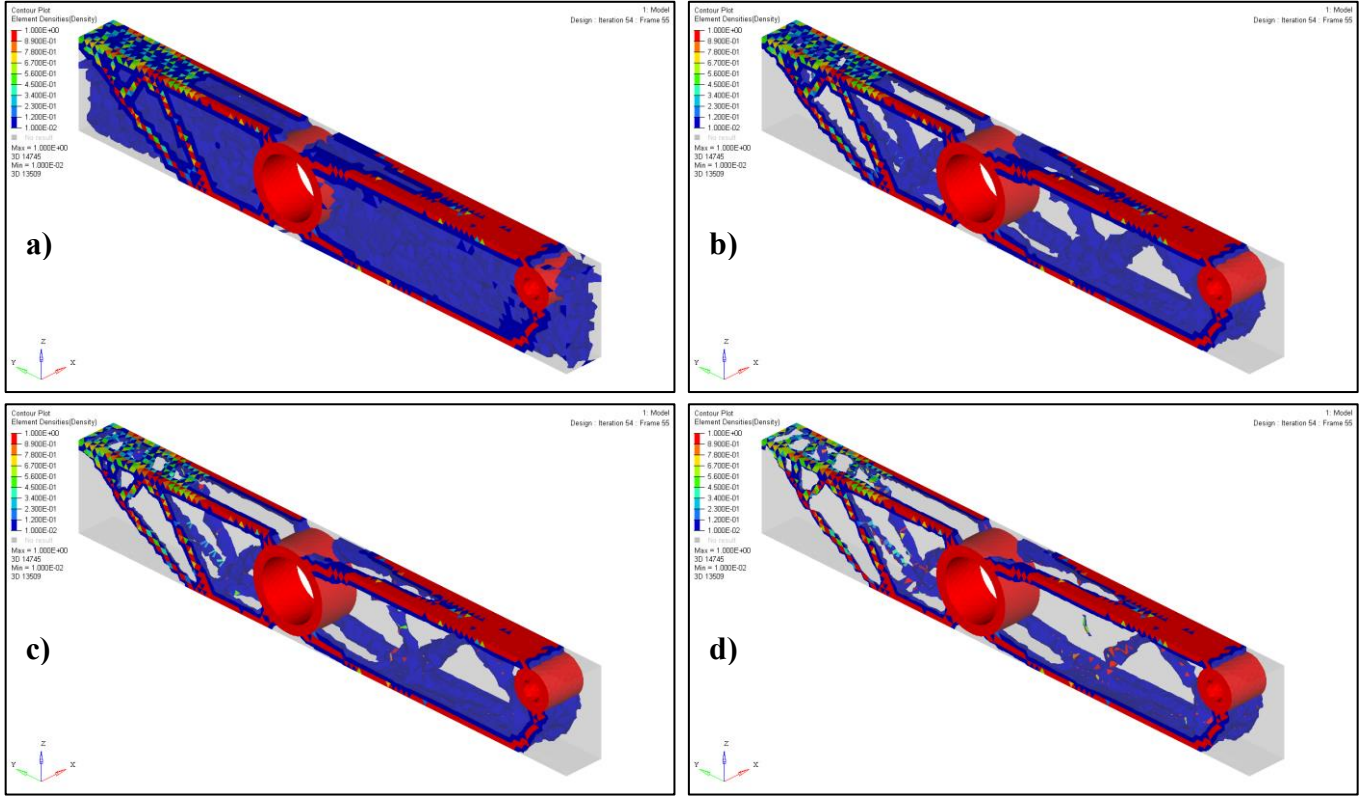
Formula SAE aracı fren pedalı için kurallar çerçevesinde ağırlık azaltmak amacıyla topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu 54 iterasyon ile tamamlanmıştır. Topoloji optimizasyonunda en uygun tasarımı elde etmek için sonuçların iyi incelenmesi gerekmektedir. Şekil 3’de topoloji optimizasyonunun iterasyonlar sırasında verdiği eleman yoğunluğu dağılımı gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 10 numaralı iterasyondan itibaren optimum şeklin genel hatlarının oluştuğu ve iterasyon numarası ilerledikçe kesin hatların daha da netleştiği görülmektedir.



Şekil 3. Topoloji optimizasyonu sonucun eleman yoğunluğu dağılımları a) İterasyon no:10, b) İterasyon no:20, c) İterasyon no:30, d) İterasyon no:40, e) İterasyon no:50, f) İterasyon no:54

Topoloji optimizasyonu sonucunda en iyi sonuca 54 numaralı iterasyon ile ulaşılmıştır. Bu iterasyon sonucu oluşan eleman yoğunluğu dağılımı üzerinden optimum şekil ortaya çıkarılacaktır. Bu nedenle 54 numaralı iterasyon sonucunda oluşan eleman yoğunluklarının dağılımının daha detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. 54 numaralı iterasyon için belirlenen eşik değerlerindeki eleman yoğunluk dağılımları Şekil 4’de verilmiştir. Ayrıca şekilde şeffaf gri renkli olarak tasarım hacmi de verilmiştir. Bu sayede topoloji optimizasyonunun etkinliği ve boşaltılan hacmin büyüklüğü görülebilmektedir. Şekil 4’de sırasıyla gizlenecek eleman yoğunluğu 0.01, 0.05, 0.10 ve 0.15 tir. Eşik değer sonuçları incelendiğinde eşik değer arttıkça oluşturulacak yeni tasarım daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Eleman yoğunluğu eşik değeri 0.15 ’de en uygun eleman dağılımı elde edildiği görülmüştür ve bu dağılım üzerinden topoloji optimizasyonu sonucundan yeni tasarım modeli oluşturulmuştur.

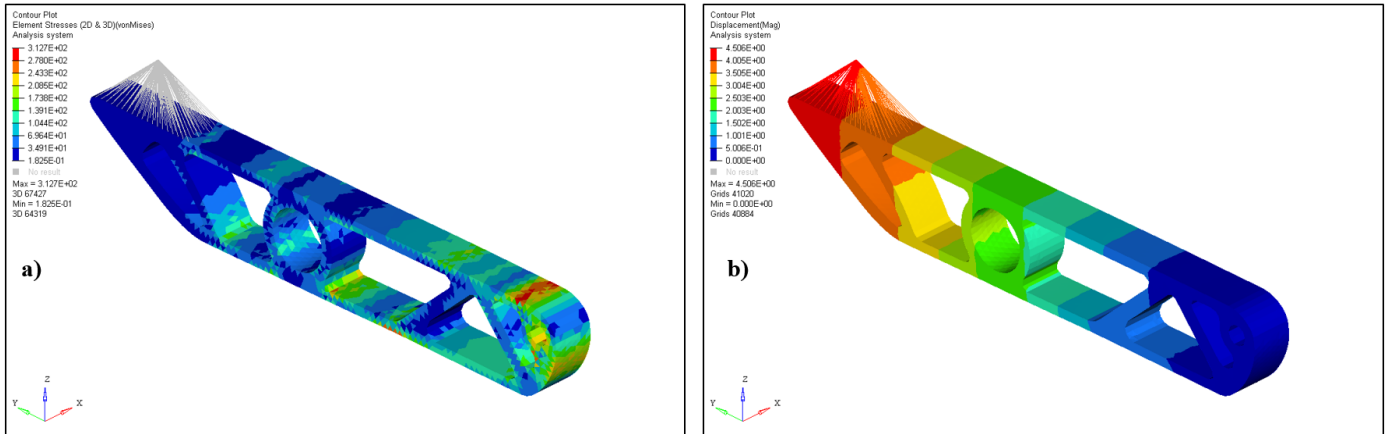




**Şekil 4.** Topoloji optimizasyonu 54 numaralı iterasyon sonucu eleman yoğunluğu dağılımının belirlenen eşik değerlerindeki gösterimleri a)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.01, b)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.05, c)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.10, d)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.15

Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen malzeme dağılımı yorumlanarak üretilebilir yeni bir tasarım oluşturulmuştur. Bu süreçte gerilme yığılması olabilecek muhtemel bölgeler doğrulama amaçlı sonlu elemanlar analizleri ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ele alınan parçanın son tasarımında gerilme yığılması olan bölgeye rastlanmamıştır. Topoloji sonrası önerilen optimum malzeme dağılımı incelenmiş, özellikle ani kesit geçişleri olan bölgelerdeki geçiş geometrisi yumuşatılarak ani geçişlerden kaçınılmıştır, bu sayede gerilme yığılması muhtemel bölgelerde gerilme dağıtılarak hem statik emniyet şartı hem de tekrarlı yüklemelerde yorulma açısından ortaya çıkabilecek problemlerin önüne geçilmiştir.

Üretim kısıtları ve gerilme yığılma durumu gözetilerek yeni tasarım modeli oluşturulmuş ve fren pedalı yapısal analizi yapılmıştır. Yapısal analiz sonuçları Şekil 5’de verilmiştir. Fren pedalının en yüksek gerilme değeri (Şekil 5.a) 312.70 MPa ve en büyük yer değiştirme değeri (Şekil 5.b) ise 4.51 mm dir.



**Şekil 5.** Yeni model yapısal analizi gerilme ve yer değiştirme sonuçları a) Gerilme sonucu, b) Yer değiştirme sonucu

Yeni model ile ilk tasarım modeli yapısal analiz sonuçları ve karşılaştırmalar Tablo 2’de verilmiştir. Optimizasyon sonucunda oluşan şekil üzerinden üretim kısıtları gözetilerek tekrar tasarlanan yeni tasarım, ilk tasarıma göre %11 oranında hafifletilmiş ve 273 gr ağırlığa sahiptir. Elde edilen yeni tasarım yapısal analiz sonucunda gerilme değeri %6 oranında bir artış olsa da bu değer kuralları sağlamaktadır. Ayrıca yeni model ilk tasarıma göre yaklaşık %5 lik oradan daha az yer değiştirme meydana gelmektedir.

**Tablo 2.** Yeni model ve ilk modelin yapısal analiz sonuçları

	İlk model	Yeni model	Değişim
Ağırlık (gr)	309	273	- % 11.65
Gerilme (MPa)	293	312	+ % 6.48
Yer değiştirme (mm)	4.73	4.51	- % 4.65

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada yarışma kurallarında belirtilen sınırlar dahilinde araç ağırlığının azaltılmasına yönelik, yeni malzeme seçimi ve topoloji optimizasyonu yöntemi kullanılarak Formula SAE aracı fren pedalı tasarımı yapılmıştır. Araç ağırlığının azaltılması amacıyla yapılan bu çalışmada, hafifletme öncelikli kriter olduğu için maliyet artış yüzdesi ihmal edilebilir olarak kabul edilmiştir. Yeni malzeme seçiminde maliyet, fonksiyonellik, kolay erişim, işlenebilirlik gibi kriterler göz önüne alınmıştır. Topoloji optimizasyonunda malzeme dağılımı metodu seçilmiştir. Topoloji optimizasyonunda tasarım değişkeni olarak boşalma istenilen bölgeler, kısıt olarak gerilme ve optimizasyon amacı olarak ise ağırlık tanımlanmıştır.

Topoloji optimizasyonu sonucunda eleman yoğunlukları yeni tasarımın genel hatlarını vermiştir. Üretim kısıtları da gözetilerek yeni bir fren pedalı tasarlanmıştır. Yeni oluşturulan fren pedalı tasarımı ilk tasarıma göre %11,65 oranında hafifletilmiştir.

Bu çalışma ile yeni malzeme seçimi ve yapısal değişiklik için topoloji optimizasyonu yaklaşımı kullanılarak alüminyum alaşım ile tasarlanmış fren pedalı modeli ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda topoloji optimizasyonunun çalışma şartlarını koruyarak ya da bazı durumlarda iyileştirerek daha hafif yeni tasarımlar oluşturmaya yardımcı olduğu ortaya koyulmuştur.

## REFERANSLAR

- Albak, E. İ. Solmaz, E. Kaya, N. Öztürk, F. (2018). Lightweight foam impact attenuator design for formula SAE car. Turkish Journal of Engineering, 2(1), 17-21. doi:10.31127/tuje.330658.
- Başer, T. A. (2013). Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. Mühendis ve Makine. 53(635), 51-58.
- Bendsoe, M.P. and Kikuchi, N. (1988). Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. Computational Methods Application Mechanics Engineering, 71(2), 197-224. https://doi.org/10.1016/0045-7825(88)90086-2
- Cavazzuti, M. Baldini, A. Bertocchi E, Costi, D. Torricelli, E. Moruzzi, P. (2011). High performance automotive chassis design: a topology optimization based approach. Struct Multidisc Optim 44(1), 45–56. doi: 10.1007/s00158-010-0578-7
- Chiandussi, G. Gaviglio, I. Ibba, A. (2004). Topology optimization of an automotive component without final volume constraint specification. Adv Eng Softw 35(10-11), 609–617. doi:10.1016/j.advengsoft.2003.07.002
- Lee, S.J. Lee, H.A. Yi, S.I. Kim, D.S. Yang, H.W. Park, G.J. (2013). Design flow for the crash box in a vehicle to maximize energy absorption proceedings of the institution of mechanical engineers. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 227(2), 179–200. doi:10.1177/0954407012451545
- Optistruct. (2017). Optistruct reference guide. Hyperworks, Altair.
- Öztürk, F. Şendeniz, G. (2014). Yolcu koltuklarında topoloji tasarım yaklaşımları ile optimizasyon, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Mayıs 2017, Bursa.
- Pul, M. (2017). Comparison of surface roughness and tool wear in turning of 7075, 6061 and 2024 aluminum alloys. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9(2), 65-75. doi:10.29137/umagd.351746
- Yang, R.J. & Chuang, C.H. (1993). Optimal topology design using linear programming. Structural Optimization. 68, 265-290.
- S-t, [http://www.s-t.com.tr/altair\\_optistruct\\_topoloji\\_optimizasyonu.html](http://www.s-t.com.tr/altair_optistruct_topoloji_optimizasyonu.html), 31.07.2018
- SAE, <https://www.fsaonline.com/content/2017-18-FSAE-Rules-091317.pdf>, 31.07.2018
- Sekmen, M. Günay, M. Şeker, U. (2015). Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. Politeknik Dergisi. 18(3), 141-148. Doi: 10.2339/2015.18.3 141-148
- Yıldız, A.R. (2017). Taşıt elemanlarının yapısal optimizasyon teknikleri ile optimum tasarımı. Politeknik Dergisi. 20(2), 319-323. Doi: 10.2339/2017.20.2 319-323
- Yıldız, A.R. Kaya, N. Öztürk, F. Alankuş, O. (2004). Optimal design of vehicle components using topology design and optimisation, International Journal of Vehicle Design 34 (4), 387-398. doi:10.1504/IJVD.2004.004064