

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞIRLIĞI AZALTILMIŞ FREN PEDALI TASARIMI VE TEST DÜZENEGİ
GELİŞTİRİLMESİ**

SEFA KALE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALP TEKİN ERGENÇ**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIRLIĞI AZALTILMIŞ FREN PEDALI TASARIMI VE TEST DÜZENEGİ
GELİŞTİRLMESİ**

Sefa KALE tarafından hazırlanan tez çalışması 28.12.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cem SORUŞBAY
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Orkun ÖZENER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, T.C. Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü'nün 0094.STZ.2013-1 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi kapsamında farklı kalınlıktaki fren pedalı tiplerinin bilgisayar ortamında statik stres analizleri yapılmış, stres yoğunluğunun maksimum olduğu bölgeler tespit edildikten sonra yorulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarının doğruluğunu tespit etmek amacıyla fren pedalı test düzeneği geliştirilmiş ve pedalların yorulma testleri yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlara göre pedal geometrisinde değişikliğe gidilmiş ve yeni bir fren pedalı dizaynı gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen ve yol gösteren değerli hocam Sn. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ 'e katkılarından dolayı teşekkür ederim. Pedal geometrilerinin bilgisayar ortamında oluşturulmasında ve test düzeneğinin geliştirilmesindeki sonsuz yardımlarından dolayı Toyotetsu Otomotiv A.Ş. arge mühendislerine teşekkürü borç bilirim.

Mart, 2016

Sefa KALE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
FREN PEDALI.....	5
2.1 Fren Pedalı İmalatı ve İmalatta Kullanılan Malzemeler	8
2.2 Pedal Kuvvetleri	9
2.2.1 Pedal Eforu	10
2.2.2 Maksimum Fren Kuvveti.....	10
2.3 Pedal Oranını Belirleme Yöntemleri	10
2.3.1 Kuvvetleri Ölçerek Pedal Oranının Bulunması.....	11
2.3.2 Hareketleri Ölçerek Pedal Oranının Bulunması.....	12
2.3.3 Pedal Geometrisi	13
BÖLÜM 3	
YAPISAL ANALİZ.....	15
3.1 Katı Modelin Oluşturulması	15
3.2 Sonlu Elemanlar Modeli	16
3.2.1 Ağ Yapısının Oluşturulması	16
3.2.2 Pedal Malzemesi.....	17
3.2.3 Sınır Şartlarının Tanımlanması	18
3.3 Stres Analizi.....	20

3.3.1	8 mm Fren Pedalı Stres Analizi	20
3.2.2	1.4-1.4 mm Fren Pedalı Stres Analizi	22
3.2.3	1.4-1.2 mm Fren Pedalı Stres Analizi	23
3.2.4	1.2-1.4 mm Fren Pedalı Stres Analizi	25
3.2.5	1.2-1.2 mm Fren Pedalı Stres Analizi	26
BÖLÜM 4		
YORULMA ANALİZİ		27
4.1	Yorulma Teorisi	28
4.1.1	Stres-Ömür Metodu	29
BÖLÜM 5		
DENEYSEL ÇALIŞMA		31
5.1	Test Düzenği Kurulumu	32
5.2	Yorulma Teorisi	35
5.1	DeneySEL Çalışma	35
5.3.1	1.4-1.4 mm Fren Pedalı Yorulma Testi	35
5.3.2	1.2-1.2 mm Fren Pedalı Yorulma Testi	37
BÖLÜM 6		
YENİ PEDAL TASARIMI		40
6.1	Revizyonu Yapılan Fren Pedalı	40
6.1.1	Yeni Fren Pedalı Stres Analizi	41
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		44
6.1	Sonuçların Karşılaştırılması	44
6.2	Sonuç ve Öneriler	45
KAYNAKLAR		46
ÖZGEÇMİŞ		48

SİMGE LİSTESİ

Fmc	Fren merkez silindirinden ölçülen kuvvet
Fpp	Pedal basma yüzeyinden ölçülen kuvvet
Mpp	Pedal basma yüzeyinin yer değiştirmesi
Mmc	Fren merkez silindiri pistonunun yer değiştirmesi

KISALTMA LİSTESİ

PLC Programlanabilir Mantıksal Denetleyici

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	8 mm Kalınlığındaki Fren Pedalı 3
Şekil 1. 2	1,4-1,4 mm Kalınlığındaki Fren Pedalı..... 4
Şekil 2. 1	Fren Pedalı Bileşenleri..... 6
Şekil 2. 2	Frenleme Sırasında Kolda Oluşan Kuvvet ve Momentler 7
Şekil 2. 3	Kauçuk ve Metal Fren Pedalı Padleri 7
Şekil 2. 4	Pedal Koluna Montajda Eklenen Parçalar 8
Şekil 2. 5	Pedal Oranının Hesaplanması 11
Şekil 2. 6	Kuvvetleri Ölçerek Pedal Oranının Hesaplanması 12
Şekil 2. 7	Hareketleri Ölçerek Pedal Oranının Hesaplanması..... 13
Şekil 2. 8	Pedal Geometrisinden Pedal Oranının Hesaplanması 14
Şekil 2. 10	Pedal Oranına Göre Değişen Pedal Oranı 14
Şekil 3. 1	Fren Pedalı Katı Modeli 18
Şekil 3. 2	Fren Pedalı Sonlu Eleman Modeli 17
Şekil 3. 3	Workbench Menüsünde Malzeme Bilgilerinin Girilmesi 18
Şekil 3. 4	Fren Pedalı Seat Kısımında Uygulana Yüzeysel Yük 18
Şekil 3. 5	Fren Pedalı Support Kısım Arka Vida Delikleri 19
Şekil 3. 6	Analizde Kullanılan Piston Silindir Eklentisi 20
Şekil 3. 7	8 mm Fren Pedalı Stres Analizi..... 21
Şekil 3. 8	Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (8 mm)..... 21
Şekil 3. 9	1,4-1,4 mm Fren Pedalı Stres Analizi 22
Şekil 3. 10	Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1,4-1,4 mm) 23
Şekil 3. 11	1,4-1,2 mm Fren Pedalı Stres Analizi 24
Şekil 3. 12	Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1,4-1,2 mm) 24
Şekil 3. 13	1,2-1,4 mm Fren Pedalı Stres Analizi 25
Şekil 3. 14	Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1,2-1,4 mm) 26
Şekil 3. 15	1,2-1,2 mm Fren Pedalı Stres Analizi 27
Şekil 3. 16	Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1,2-1,2 mm) 27
Şekil 4. 1	Yorulmaya Bağlı Çatlak Oluşumu 29
Şekil 4. 2	Sıfır Tabanlı, Sabit Genlikte Dığrusal Yükleme 30
Şekil 4. 3	Workbench Ortamında Yorulma veYükleme Teorisinin Seçilmesi 30
Şekil 4. 4	Fren Pedalı Yorulma Analizi 31
Şekil 5. 1	Yorulma Test Düzenegİ 33
Şekil 5. 2	Test Düzenegİnde Pedalın Konumu 34
Şekil 5. 3	Test Düzenegİ Kontrol Panosu 34
Şekil 5. 4	Kontrol Sistemi Ekranı..... 35

Şekil 5. 5	250.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1,4-1,4 mm)	36
Şekil 5. 6	500.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1,4-1,4 mm)	36
Şekil 5. 7	1.000.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1,4-1,4 mm)	37
Şekil 5.8	250.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1,2-1,2 mm)	38
Şekil 5.9	500.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1,2-1,2 mm)	38
Şekil 5.10	1.000.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1,2-1,2 mm)	39
Şekil 6.1	Pedal Geometrisinde Revize Edilen Bölgeler	41
Şekil 6.2	Revize Edilmiş Fren Pedalı Stres Dağılımı.....	42
Şekil 6.3	Stres Dağılımının En Yüksek Olduğu Bölge.....	44
Şekil 6.4	Yeni Fren Pedalı Yorulma Analizi Sonucu.....	43

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 SPC 440 Çeliğinin Malzeme Değerleri	7
Çizelge 7. 1 Farklı Kalınlıktaki Fren Pedallarının Analiz Sonuçları.....	45

AĞIRLIĞI AZALTILMIŞ FREN PEDALI TASARIMI VE TEST DÜZENEGİ GELİŞTİRİLMESİ

Sefa KALE

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Otomobil üreticileri performans, yakıt tüketimi, güvenlik ve estetik konularına önem veren çalışmalar yapmakta ve bu 4 ana madde ışığında en iyi otomobili dizayn etmek için birbirleri ile yarışmaktadırlar. Otomobilin tamamı dikkate alındığında nihai kullanıcı için güvenlik en önemli temayı oluşturmaktadır. Otomotiv Ar-Ge çalışmalarının büyük bir kısmı bu tema üzerinde yoğunlaşmaktadır. Belirli standartlar ve regülasyonlar ile sınırlandırılmış bu sahada üreticiler, malzeme özellikleri, yapısı ve cinsi üzerinde çalışmalarına devam etmekte ve aynı güvenlik değerlerini sağlayan ancak daha düşük maliyetli ve hafif ürünler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Normal şartlarda fren pedallarının üretiminde 8 mm'lik içi dolu saç malzemeler kullanılmaktadır. Yeni sistemde ise 1.4 mm kalınlığında iki malzemenin birbirine kaynatılma işlemi gerekmektedir. Normal şartlarda 8mm'lik malzeme için gaz altı kaynak sistemi kullanılmaktadır. Bu kaynak sistemini 1.4mm'lik yeni malzemede kullanırken bazı kaynak problemleri (kaynak bölgesinde delik, kaynak nüfuziyetinde yetersizlik) ortaya çıkmaktadır. Bu noktada ince malzemelerin kaynağını yapabileceğimiz plazma kaynak tekniği kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, yekpare fren pedalı yerine çift parçalı fren pedalı geliştirilmiştir. Çalışmada, binek motorlu taşıtlarda kullanılan fren pedalı, hali hazırda üretilen yekpare pedala benzer yapıda ve kendisinden beklenen ergonomik şartlara

uygun olarak 2 parçalı olarak bilgisayar ortamında çizilmiştir. Çizilen ift parçalı fren pedalı Ansys Programında analiz edilecek ve dayanımı irdelenecek ve yekpare pedal ile karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında üretilmesi planlanan yekpare pedal, 1.4mm kalınlığındaki 2 plakadan, 1,4 mm ila 1,2 mm kalınlığındaki 2 plakadan ve 1,2 mm kalınlığındaki 2 plakadan olmak üzere 3 farklı yapıda tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Analiz çalışmasını takiben söz konusu 3 farklı çift parçalı fren pedalı, proje kapsamında tasarlanan “Fren Pedalı Test Makinesine” bağlanmış ve ömür testi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fren Pedalı, Yorulma Analizi, Yorulma Test Düzeneği

**REDUCED WEIGHT BRAKE PEDAL DESIGN AND TEST BENCH
DEVELOPMENT**

Sefa KALE

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Auto manufacturers are working weightly about performance, fuel consumption, safety and aesthetics within the framework of 4 main subjects, they compete against each other to design the best auto. If we think whole auto, the most important thing is safety for lastest user. Because of that reason most of Research and Development works of auto are focus on this subject. In this field, which has boundries with fixed standarts and regulations, manufacturers continue to work on characters, structure and types of material to developpe the new products, which have the same safety specifications but cheaper and weaker than current products.

In current conditions solid sheet materials, whose thickness is 8mm, are used to produce brake pedal. The new system requires that welding two materials, each of them has 1.4mm thickness. In current conditions, gas metal arc welding system is used for 8mm thickness material. When this welding system is used for the 1.4mm thickness material, there are some problems like hole in welding area, inadequacy in dilution. Because of this reasons it is decided that plasma welding system, which is most suitable for thin materials, will be used.

In this study the new brake pedal, which is used in carriage motor vehicle, will be design in virtually with 2 pieces, according to ergonomic specifications which are expected from it and similar structures with current one piece brake-pedal. The two-

pieces brake pedal, which is designed virtually, will be analyzed, compared with one-piece pedal and investigated resistance characters in Ansys Program. The new brake pedal in this project will be designed and analyzed for three different types. One of them is composed of two metal plates with 1,4 mm thickness, the other one is composed of two metal plates with 1.2mm and 1.4mm thickness, and the last one is composed two metal plates with 1,4 mm thickness.

Within the context of this analyze works, type fatigue test of these three brake pedal types will be done with connecting them to “Brake Pedal Test Machine” which will be design in project, too. With these test it will be determined if these three type pedals are available for standarts or not. After these tests, the results will be explicated to find which thickness is available for product. In this project, some tests will be made to vernacularize the raw material, too.

Keywords: Brake Pedal, Fatigue Analysis, Fatigue Test Bench

GİRİŞ

Otomobil üreticileri performans, yakıt tüketimi, güvenlik ve estetik konularına önem veren çalışmalar yapmakta ve bu 4 ana madde ışığında en iyi otomobili tasarımı elde etmek için birbirleri ile yarışmaktadırlar. Otomobilin tamamı dikkate alındığında nihai kullanıcı için güvenlik en önemli temayı oluşturmaktadır. Otomotiv Ar-Ge çalışmalarının büyük bir kısmı bu tema üzerinde yoğunlaşmaktadır. Belirli standartlar ve regülasyonlar ile sınırlandırılmış bu sahada üreticiler, malzeme özellikleri, yapısı ve cinsi üzerinde çalışmalarına devam etmekte ve aynı güvenlik değerlerini sağlayan ancak daha düşük maliyetli ve hafif ürünler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Taşıt ağırlığının azaltılmasında daha hafif malzeme kullanmak, taşıt boyutlarını küçültmek ve taşıt komponentlerinden malzeme çıkarmak yaklaşımları kullanılmaktadır. Taşıt ağırlığının azaltılması sonucu; yakıt tüketimi azaltılır. Taşıt kütlesinin %10 azalması ile yakıt gereksinimi $5\div 7$ oranında azalır. Yanma verimi artırılır ve emisyon miktarı düşer.

Bu tez kapsamında, ağırlığını azaltmak amacıyla farklı kalınlıktaki çift parçalı fren pedallarının yapısal analizleri yapılmış, analiz sonuçlarını doğrulamak amacıyla fren pedalı yorulma test düzeneği geliştirilmiş ve yorulma testleri yapılmıştır. Analiz ve test sonuçları doğrultusunda; ağırlığı azaltılmış, çift parçalı fren pedalı geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Güvenlik standartları, taşıtlarda kullanılan fren pedalı kuvvetini sınırlandırmıştır. Gerek ergonomik tasarım, gerekse sürücü kuvvet uygulama limiti dikkate alınarak, kuvvet

sınırı ve pedal yolu belirlenmiştir. Bir bayan için belirlenmiş maksimum sağ ayak kuvveti yaklaşık 445 N, erkek içinde yaklaşık 823 N olarak öngörülmüştür. Bu kuvvetler standart pedal kuvvetleri olup, üreticisi tarafından izin verilen maksimum taşıt ağırlığında, teorik olarak 1g yavaşlama için tanımlanmış değerlerdir. Bu değerler herhangi bir fren destek sisteminin kullanılmadığı standart hidrolik sistem için geçerlidir. Günümüz taşıtlarında fren servosu kullanıldığından fren pedalına basma kuvvetinin 223 ila 334 N arası değişmesi durumunda 0.9-1 g mertebesinde yavaşlama olmaktadır. Bu durumda maksimum pedal yolunun 75-90 mm az olması istenir. Her ne kadar fren pedalı kuvveti servo kullanımında azalsa da, fren servo arızası ve/veya fren sistemi arızasında kullanıcının uyguladığı kuvvet maksimum kuvveti aşabilir [1].

Otomobillerde kullanılan fren pedalları aşağıda verilen hususlar ışığında test edilmektedir [2].

- ✓ Pedal baskı lastiğinde kayma olmadığı kontrol edilir.
- ✓ Pedalın durumu gözden geçirilir.
- ✓ Pedal baskı yüzeyi lastiğinin pedala bağlantısı ile pedalın baskı yüzeyinin pedal koluna bağlantısı kontrol edilir.
- ✓ Pedalı ileri geri hareket ettirerek pedal bağlantı noktasındaki bilyeli yatağın durumu incelenir.
- ✓ Pedala basılarak, pedal kuvvetinin pedalın şasiye bağlandığı noktadaki etkisi gözlenir.

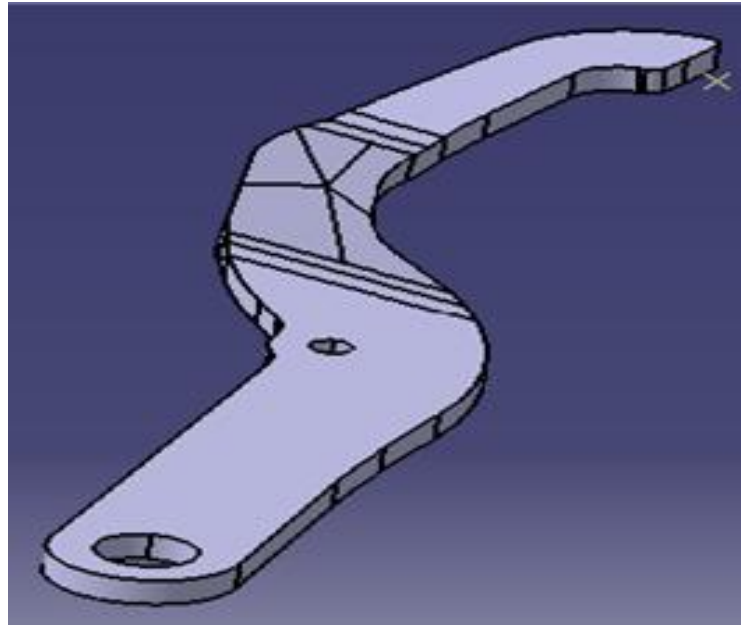
Günümüzde fren pedalları çoğunlukla çelikten üretilmektedir [3]. Pedal Ağırlığını azaltmanın bir diğer yolu olarak ise alternatif malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler kullanılarak üretilen fren pedalı çalışmaları, günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır [4]. Fren pedalı üretiminde kullanılan alternatif malzemelerin başında fiber glas gelmektedir [5].

1.2 Tezin Amacı

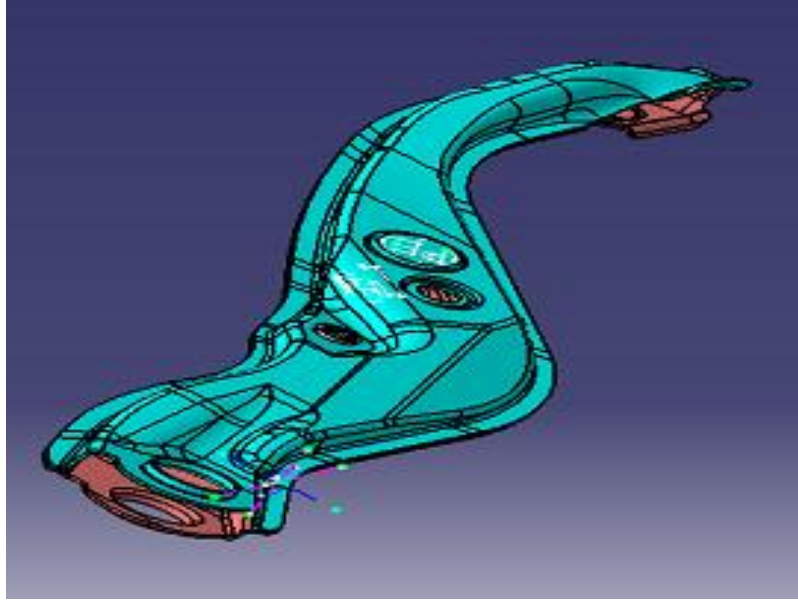
Otomobil üreticileri performans, yakıt tüketimi, güvenlik ve estetik konularına önem veren çalışmalar yapmakta ve bu 4 ana madde ışığında en iyi otomobili dizayn etmek için birbirleri ile yarışmaktadırlar. Otomobilin tamamı dikkate alındığında nihai kullanıcı için güvenlik en önemli temayı oluşturmaktadır. Otomotiv Ar-Ge çalışmalarının büyük

bir kısmı bu tema üzerinde yoğunlaşmaktadır. Belirli standartlar ve regülasyonlar ile sınırlandırılmış bu sahada üreticiler, malzeme özellikleri, yapısı ve cinsi üzerinde çalışmalarına devam etmekte ve aynı güvenlik değerlerini sağlayan ancak daha düşük maliyetli ve hafif ürünler geliştirmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışma kapsamında, geliştirilen fren pedalları ile birim pedal maliyetinin azaltılması ve geliştirilen yeni pedalın ömür testinin ülke içinde yapılabilmesi hedeflenmiştir. Ülkemizin hammaddesini ithal ettiği fren pedalının daha ince malzeme ile üretilebilir olması ve projenin hedefleri arasında yer alan hammadde yerlileştirme denemeleri ile ülke kaynaklarının yurtdışından hammadde temini amaçlı kullanımı azaltılabilecektir.

Bu çalışmada, ilk aşamada pedal üretimi etüt edilerek, pedalın son haline gelinceye kadar hangi aşamalardan geçtiği öğrenilmiştir. Mevcut fren pedalları incelenmiş ve pedal tasarımında dikkat edilen noktalar saptanmıştır. Bu incelemeyi takiben, ilk olarak 8 mm kalınlığındaki yekpare fren pedalının, sonrasında farklı kalınlıktaki iki parçalı dört fren pedalının (1.4-1.4 mm, 1.4-1.2 mm, 1.2-1.4 mm, 1.2-1.2 mm) yapısal analizleri yapılmıştır. Fren pedallarının üç boyutlu geometrileri Ansys programına çağırılmış, uygun ağ yapısına büründürülmüş ve sınır şartları uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle, maksimum stres ve minimum ömrün olduğu bölgeler saptanmış ve farklı fren pedallarının karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 1. 1 8mm Kalınlığındaki Yekpare Fren Pedalı



Şekil 1. 2 1.4-1.4 mm alınlığındaki iki parçalı fren pedalı

1.3. Hipotez

Bu tez kapsamında, geliştirilen fren pedalları ile birim pedal maliyeti azaltılabilecektir. Geliştirilen yeni pedalın ömür testlerinin ülke içinde yapılabilmesi sağlanacaktır. Ülkemizin hammaddesini ithal ettiği fren pedalını daha ince malzeme ile üretebilecek, hammadde yerlileştirme denemeleri ile ülke kaynaklarının, yurtdışından hammadde temini amaçlı kullanımının azaltılması amaçlanmıştır.

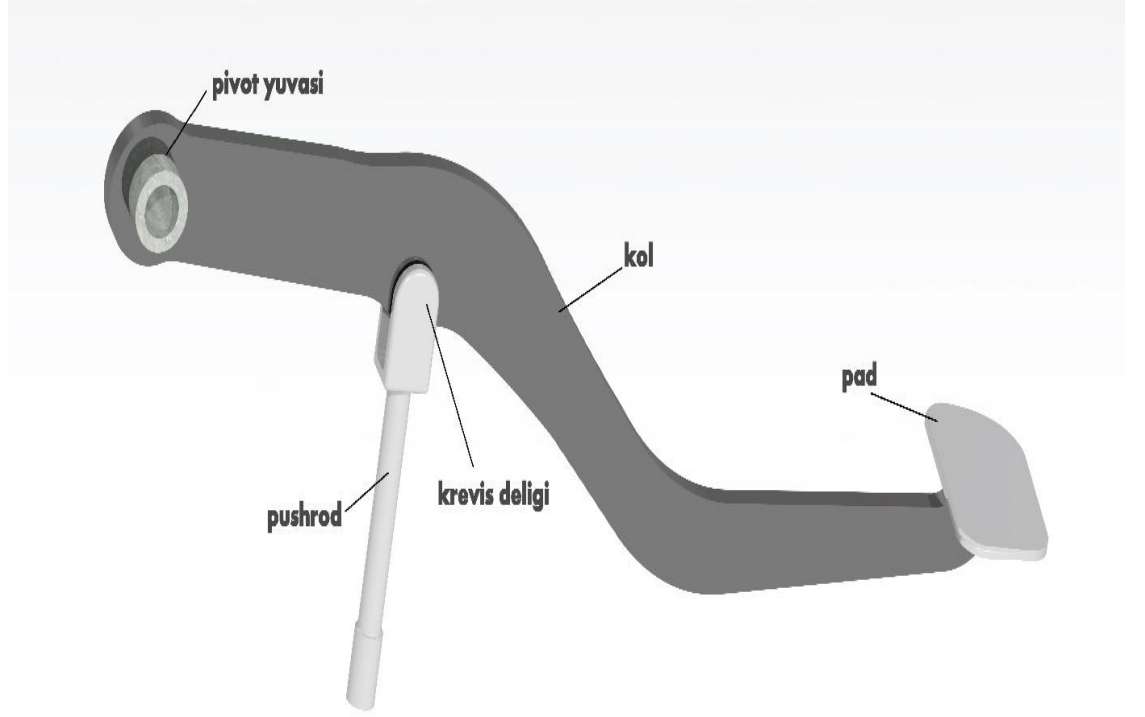
BÖLÜM 2

FREN PEDALI

Motorlu araçlarda fren sisteminin görevi, hareket halinde olan aracı mümkün olan en kısa mesafe ve en kısa zaman içinde durdurma ve yavaşlatma oranla, frenin daha büyük bir hızla aracı durdurması ve yavaşlatması istendiğinden fren gücünün motor gücünden büyük olması gerekir. Fren pedalının görevi ise, durma ve yavaşlama anında sürücünün ayağından aldığı emri fren sistemindeki ana merkez silindire iletmektir. Fren pedalının tasarım ve konstrüksiyonu fren sisteminin çalışmasını önemli ölçüde etkiler. Bir fren pedalı, frenleme sisteminin en güvenilir parçası olmalıdır çünkü bunun aksi frenleme yetisinin yitilmesi anlamına gelir [6].

İyi bir fren pedalı aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır; [7]

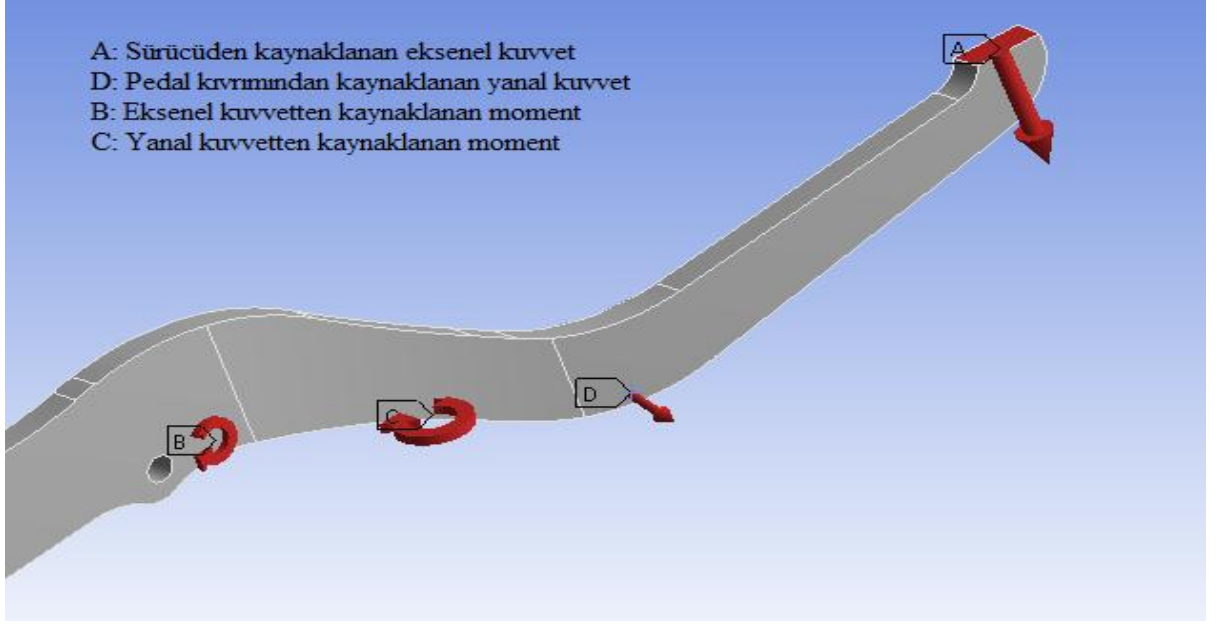
- ✓Sürücü maksimum kuvvet uyguladığında kırılmamalı ve eğilmemelidir.
- ✓Katı olmalıdır ve sert frenleme sırasında esnememelidir.
- ✓Aşırı sürtünmeye maruz kalmamalıdır.
- ✓Fren merkez silindirine doğru kaldıraç görevi sağlamalıdır.
- ✓Bağlantı elemanları ve sistem, sürücünün isteklerini karşılamalıdır.



✓

Şekil 2. 1 Fren Pedalı Bileşenleri

Bir fren pedalı, kol, pad ve pivot bağlantılardan oluşur. Pedal, bağlantı elemanlarına bağlanır. Bu bağlantı elemanları, kuvvet ve hareketi merkez silindire iletir. Fren kolu, sürücü koltuğundan bakıldığında olabildiğince düz şekilde gözükmelidir. Eğer aşırı kıvrımlı olursa, pedal basılıyken kolda burkulma eğilimi olur. Pedal kolundaki burkulma, pedalın basma yüzeyinin bulunduğu kısımda yanal bir hareket oluşturur. Bu yanal hareket sürüş güvenliğini tehdit eder. İyi bir pedal kolu yanal ve eksenel yükleri karşılayacak şekilde tasarlanır. Bir pedal kolunda yanal yükler genellikle deformasyona sebep olur, çünkü pedal kolları sadece zayıf yanal kuvvetleri karşılayacak şekilde tasarlanır [8].



Şekil 2. 2 Frenleme Sırasında Kolda Oluşan Kuvvet ve Momentler

Bir pedal basma yüzeyi ayak yapısına uyacak şekilde şekillendirilir. Ufak bir basma yüzeyinde pedala konforlu basış sağlanmaz ve ayak pedaldan kolayca sıyrılabilir. İyi bir fren yüzeyinde ayakkabının çevresinde boş alanlara izin verilmelidir. Normal araçlarda estetik, konfor ve ayağa oturuş sebebiyle kauçuk basma yüzeyi kullanılır. Yarış araçlarında maksimum ayağa oturuş için dokulu metal pad kullanılmaktadır [9].



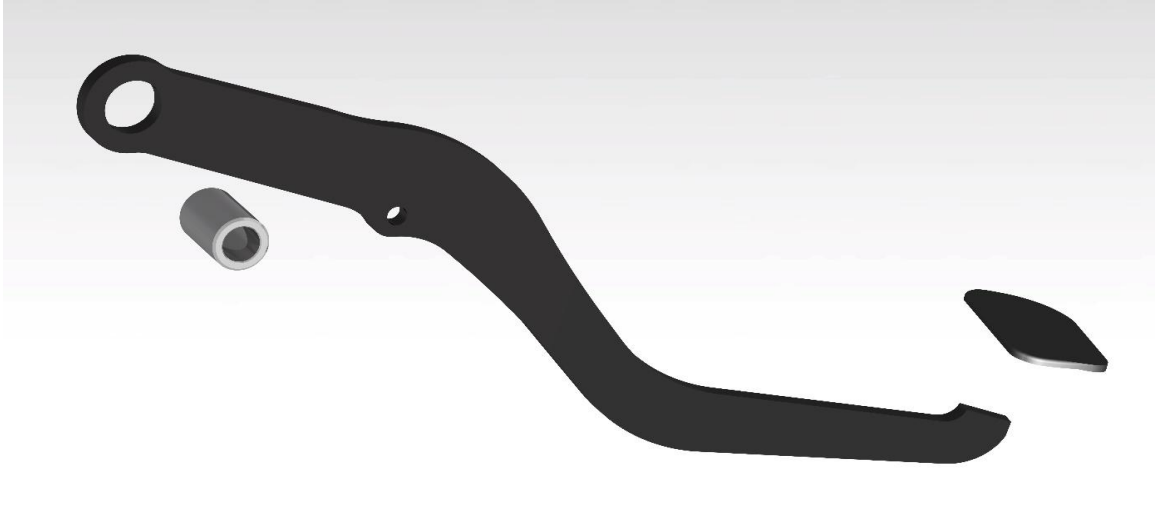
Şekil 2. 3 Kauçuk ve Metal Fren Pedalı Basma Yüzeyleri

Bazı yarış aracı pedalları ayarlanabilir basma yüzeylerine sahiptir ve sürücüye uygun konuma getirilebilirler. Çoğu yarış aracında koltuklar sabittir. Bu sebeple fren pad'leri ayarlanabilir yapılmaktadır. Ayak topuğu ve burnunun, fren ile gaz pedalları arası

geçişlerde istenilen yanal hareketi 4cm civarındadır. Ayrıca, fren pedalı ani frenleme için gaz pedalından 1cm kadar yukarıda konumlandırılmıştır [10].

2.1 Fren Pedalı İmalatı ve İmalatta Kullanılan Malzemeler

Fren kolunun üretimi pres tezgahlarında gerçekleştirilir. Tasarımı tamamlanan fren pedalının üretimi için öncelikle üretim prosesleri belirlenir ve uygun kalıp dizayn edilir. Üretimde kullanılacak malzeme ve istenilen üretim hızına göre pres tezgahının kapasitesi belirlenir. Seri üretimde üretilen parçalar, çapak kontrolünden geçirilerek montaj hattına gönderilir.



Şekil 2. 4 Pedal Koluna Montajda Eklenen Parçalar

Montaj hattında genellikle pivot deliğine pivot yuvasının, pedal koluna ayak basma yüzeyinin kaynatılması işlemleri ve basma yüzeyine kauçuk başlık geçirme işlemleri yapılır. Bazen ise bunlara ek olarak pivot yuvasının burçları takılır ve göbek mili ile destek elemanının montajı da yapılır. Kalın malzemeler kullanıldığı için maliyet açısından avantajlı olan ark kaynağı tercih edilir. Bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, pad'in fren kolu ile kaynatıldığı konumun doğru olmasıdır. Bunun iki önemli sebebi vardır: Birincisi, pedalın mukavemet açısından optimum zorlanması için frenleme kuvvetinin pedala dik bir şekilde gelmesi gerekmektedir. Diğer sebep ise, sürüş sırasında sürücünün ayağının gaz pedalından fren pedalına geçişi için

gerekli sınır şartlar olmasıdır. Bu sebeplerden dolayı pedal koluna pad kaynatılırken, kaynak jigi ile doğru konum belirlenir ve parça kaynatılır.

Günümüzde fren pedallarının büyük çoğunluğu çelikten yapılır. Bu, pedala yüksek sertlik ve dayanıklılığı ucuz fiyata sunar. Eski araçlarda dövme çelik kullanılmıştır ancak modern araçlarda kullanılan parçalar çelik plakadan kesilir. Yarış araçlarında alüminyum ve titanyum gibi hafif malzemeler kullanılabilir.

Belirli bir ağırlıkta çeliğin katılığı, alternatif malzemelerden daha iyidir ve imal edilmesi diğerlerine göre daha kolaydır. Alüminyum pedal tasarımı daha zordur çünkü katılığı çeliğe göre düşüktür.

Günümüzde kompozit malzemeler debriyaj ve gaz pedallarında kullanılmaktadır. Yapılan Ar-Ge çalışmaları sonucu ortalama 750gr olan metal bir fren pedalı, kısa cam fiberli poliamid polimer tabanlı kompozit malzeme kullanılarak yaklaşık 200grama indirilebilmiştir. Bu malzeme düşük ağırlığının yanı sıra, yüksek dayanım ve karmaşık şekillerde tasarım kolaylığı sağlar. Bu alanda araştırmalar devam etmektedir [11].

Bir fren pedalı imal ederken uyulması gereken başlıca kurallar şunlardır; [12]

- ✓ Pedal kolu sürücü koltuğuna dik yapılmalıdır.
- ✓ Pedal koluna enine kaynak yapılmamalıdır. Çünkü enine kaynak bölgesi, kuvvet altında en zayıf bölgedir.
- ✓ Pedal kolu, basma yüzeyinin bir kenarında değil, merkezinde olmalıdır.
- ✓ Alüminyum veya diğer hafif alaşımlar yerine çelik kullanılmalıdır. Çelik, maksimum katılığı verir ve imalat kolaylığı sağlar.
- ✓ Kullanıcının sakatlanmasını önlemek ve malzeme akım çizgilerinin bozulmaması için gövde üzerinde keskin köşeler bulunmamalıdır.

2.2 Pedal Kuvvetleri

Pedal tasarımcılarının dikkate alması gereken iki kuvvet vardır; [13]

- i. Pedala uygulanabilecek en yüksek kuvvet,
- ii. Sert frenleme anında pedala gelen kuvvet.

Bu iki kuvvet aynı değildir. Maksimum kuvvet, sert frenleme sırasındaki kuvvetten daha fazladır. Bu ayrı terimleri karşılamak için, sert frenleme süresince uygulanan kuvvete 'pedal eforu' denir [14].

2.2.1 Pedal Eforu

Pedal eforu, sürücü maksimum ivme ile durmak istediğinde pedala uygulanan kuvvettir. Yarış araçlarında pedal eforu tüm frenlemelerde ortaya çıkar. Ancak normal araçlarda ise nadiren oluşur.

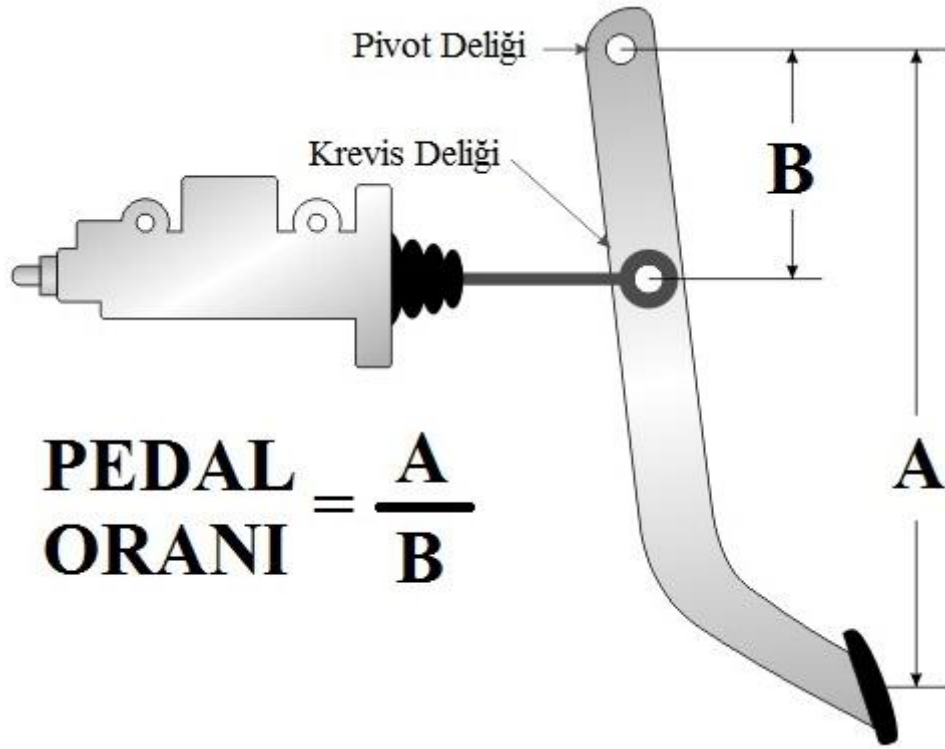
Günümüz taşıtlarında fren servosu kullanıldığından fren pedalına basma kuvvetinin 223÷334N arası değişmektedir. Yüksek performanslı bir fren sistemi genellikle maksimum ivmelenmede 300N'luk bir pedal eforuna göre tasarlanır. Eğer bir kamyon ya da yarış aracı tasarlanıyorsa, pedal eforu değeri 400N alınabilir [9]. Çoğu yolcu aracında güç destekli frenler kullanılmaktadır. Güç desteği ile pedal eforu 200N'un altına iner.

2.2.2 Maksimum Fren Kuvveti

Maksimum kuvvet, acil durumlarda sürücünün fren pedalına panikle basması ve tekerleklerin kilitlemesi durumunda oluşur. Bu koşullarda kuvvet ani şekilde uygulandığı için pedaldaki gerilmeler 2 kat artacaktır. Bu sebeple fren pedalı ve bağlantı parçaları maksimum kuvvet durumunda esnemeyecek ve kırılmayacak şekilde tasarlanmalıdır [15].

2.3 Pedal Oranını Belirleme Yöntemleri

Fren merkez silindiri pistonu için gereken kuvvet, sürücünün pedala uyguladığı kuvvetten daha büyüktür. Pedal kolunun kaldıraç görevi üstlenmesiyle mekanik avantaj sağlanır. Pedal oranı, fren sisteminde bu mekanik avantajı sağlayan pedal geometrisi oranıdır.



Şekil 2. 5 Pedal Oranının Hesaplanması

Pedal oranı manuel sistemlerde 5/1, hidrolik sistemlerde 3/1'dir. Eğer bir fren sistemi tasarlanıyor ya da değiştiriliyorsa kararlı bir pedal oranına ihtiyaç vardır. Pedal oranını hesaplama için 3 yol vardır:

- ✓ Kuvvetleri ölçmek,
- ✓ Hareketleri ölçmek,
- ✓ Fren pedalı ve çubuklarını ölçmek.

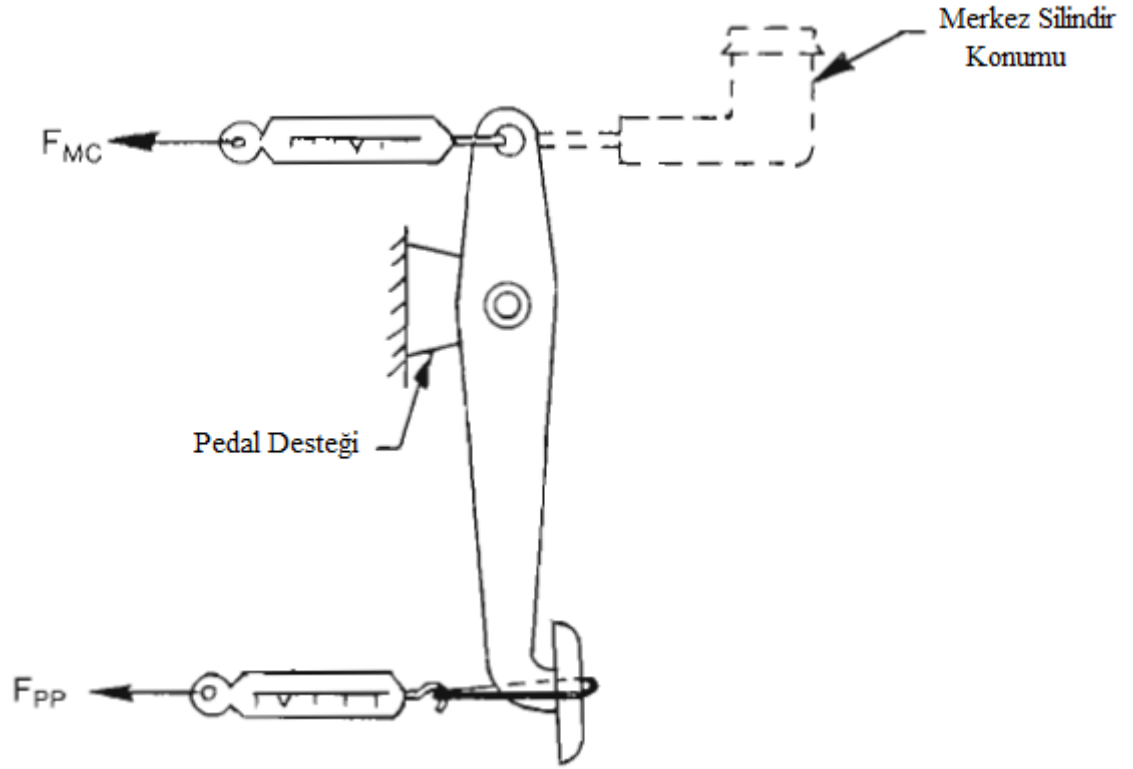
2.3.1 Kuvvetleri Ölçerek Pedal Oranının Bulunması

Pedalın basma yüzeyinin bulunduğu kısımdaki ve fren merkez silindirindeki kuvvetler ölçülebilirse, pedal oranı şu formüle göre hesaplanabilir:

Fmc: Fren merkez silindirinden ölçülen kuvvet,

Fpp: Pedal basma yüzeyinden ölçülen kuvvet,

Pedal oranı = Fmc / Fpp



Şekil 2. 6 Kuvvetleri Ölçerek Pedal Oranlarının Bulunması

Fren pedalına uygulanan kuvvet ölçülebilirse, hidrolik sistemdeki basınç da ölçülmüş olur. Eğer fren merkez silindiri piston alanı biliniyorsa, basınçtan pistondaki kuvvete dönüştürülebilir.

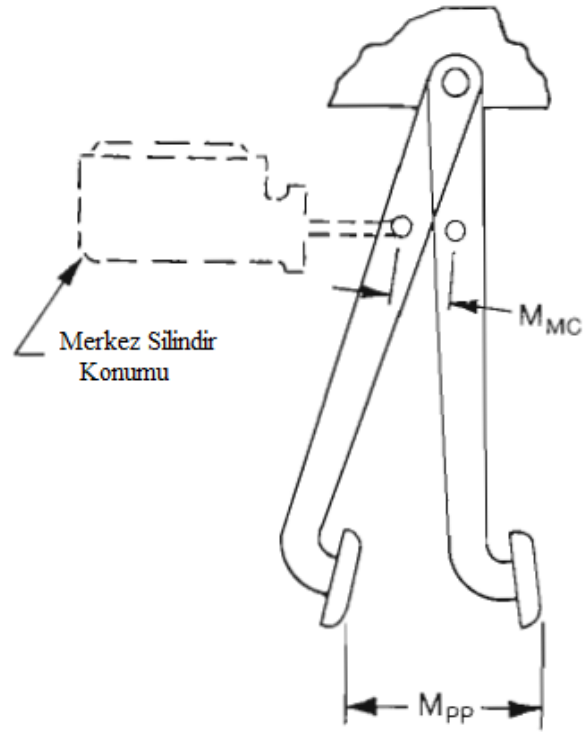
2.3.2 Hareketleri Ölçerek Pedal Oranının Bulunması

Pedal oranı, pedal basma yüzeyindeki ve fren merkez silindiri pistonundaki hareket ölçülerek bulunabilir:

Mpp: Pedal basma yüzeyinin yer değiştirmesi,

Mmc: Fren merkez silindiri pistonunun yer değiştirmesi,

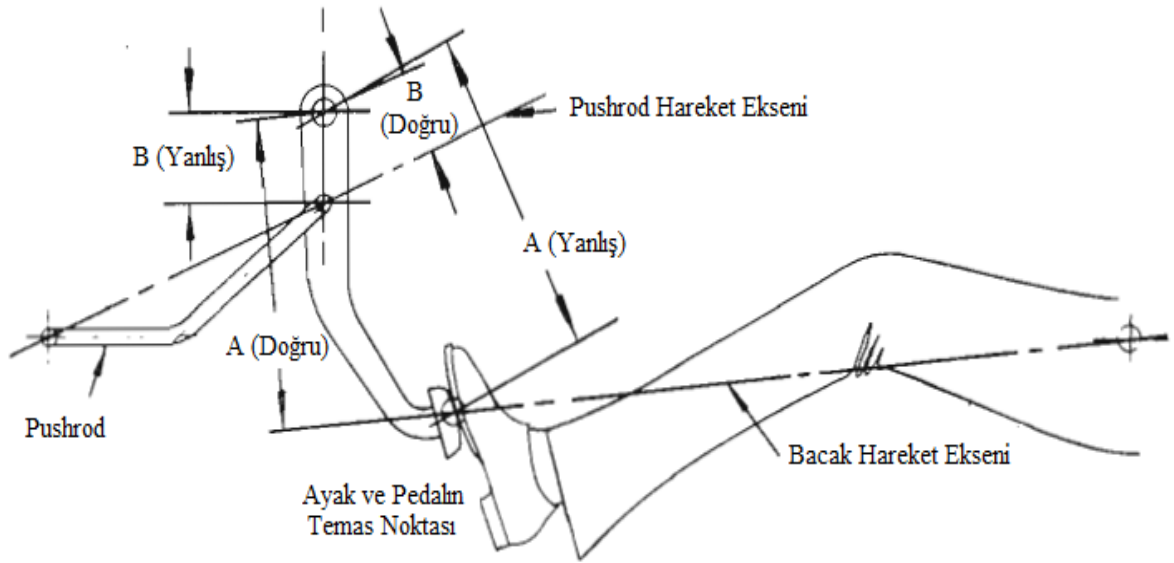
Pedal oranı = M_{pp} / M_{mc}



Şekil 2. 7 Hareketleri Ölçerek Pedal Oranlarının Bulunması

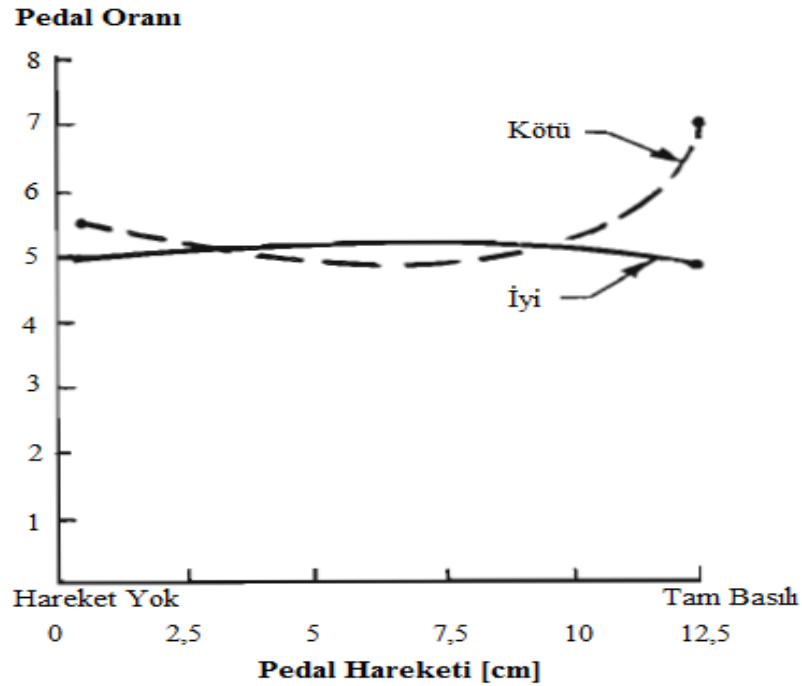
2.3.3 Pedal Geometrisi

Pedal oranı demek, pedal geometrisinin oranı demektir. Burada A ve B arası mesafelerin ölçümü çok önemlidir. Bu ölçümü doğru yapabilmek için pedaldaki yükün çizgisel hareketinin bilinmesi gerekir. Hareket, sürücünün kalçasından, ayağının pedala temas ettiği noktaya doğru bir çizgisel doğrultudadır. Bu çizgi, seyahat sırasında pedal basma yüzeyinin yer değişimine göre değişir.



Şekil 2. 8 Pedal geometrisinden pedal oranının ölçülmesi [16]

İyi bir pedal tasarımında pedal oranında büyük değişiklikler olmaz. Pedalın basma yüzeyinin yere yakın olması istenir. Doğru pedal oranı belirlenirken en yüksek ve en düşük değer aralığında uygun değer seçilir. Düşük pedal oranı pedal-çubuk bağlantısındaki sertliği artırır ve pivota gelen kuvvetleri azaltır. [16] Yüksek pedal oranında pedal eforu azalır ve daha geniş çaplı fren merkez silindiri kullanılabilir.



Şekil 2. 9 Pedal hareketine göre değişen pedal oranı grafiği [16]

BÖLÜM 3

YAPISAL ANALİZ

Bilgisayar ortamında yapılan yapısal analizler, deneysel incelemeden önce bilgi vermesi ve kıyaslama yapılabilmesi konusunda yarar sağlamaktadır. Bu çalışmada da 8 mm kalınlığındaki yekpare fren pedalının ve farklı kalınlıktaki iki parçalı dört fren pedalı tasarımının statik stres ve yorulma analizleri yapılmıştır.

İlk olarak üretilmekte olan 8 mm ve 1.4-1.4 mm kalınlığındaki fren pedalının yapısal analizi yapılmıştır. Sonrasında iki parçalı fren pedalını hafifletmek amacıyla 1.4-1.2 mm ve 1.2-1.4 mm kalınlığındaki pedal tasarımları denenmiş, son olarak 1.2-1.2 mm kalınlığındaki fren pedalının analizi yapılmıştır. Tüm fren pedallarının yapısal analizlerinde aynı prosedürler uygulandığından aşağıda 1.2-1.2 mm kalınlığındaki fren pedalının ilk geometrisine ait analiz hakkında bilgi verilmektedir.

3.1 Katı Modelin Oluşturulması

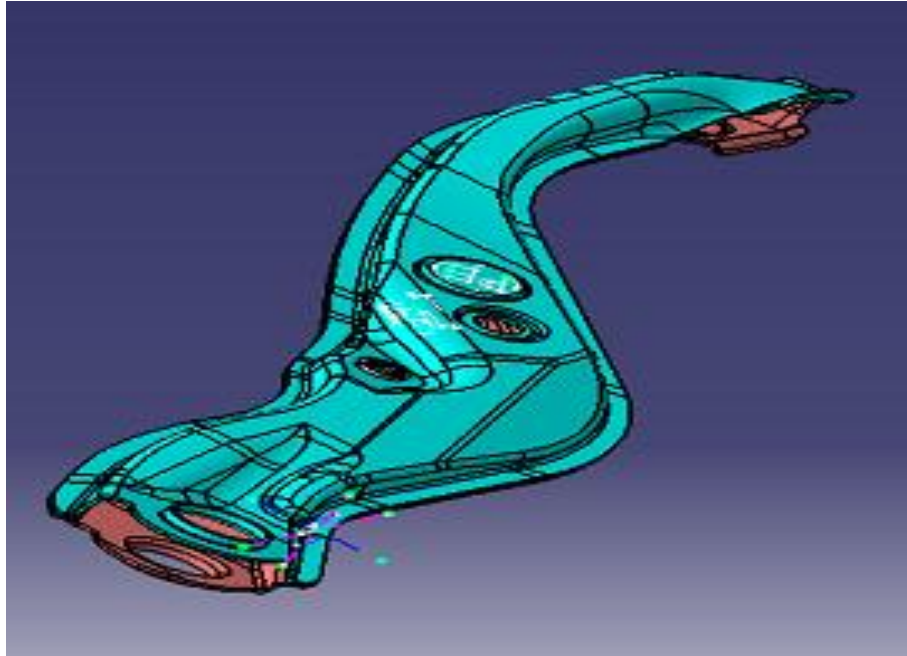
Pedal Geometrisi Catia v5 R22 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. CATIA'da değişik parça modelleme teknikleri kullanılarak, basit ve karmaşık katı model parçaların tasarlanması ve bunlar üzerinde değişikliklerin yapılması mümkündür. CATIA ile iç boşaltma, katı model analizleri (yüzey, hacim, ağırlık, atalet değerleri vb.), katıdan yüzey geometriye geçiş, katı ile yüzey modelleme tekniklerinin birlikte kullanımı gibi operasyonları yapılabilmektedir.

Karmaşık yüzeylerin kolayca oluşturulabilmesi, değişiklik yapılması, analiz edilebilmesi ve yönetilmesi gibi birçok araç bulunmaktadır. Bu araçlar, estetik, aerodinamik ve diğer kısıtları olan tasarımlar üzerinde çalışan tasarımcılara yardımcı olur. Yüksek kaliteli kaplama yeteneğiyle sanal görüntüleri doğal görüntülere dönüştürebilmektedir. Özel tasarım modülleri yardımıyla nokta bulutlarından yüzey elde edilmesi uygulamaları da gerçekleştirilebilmektedir [17].

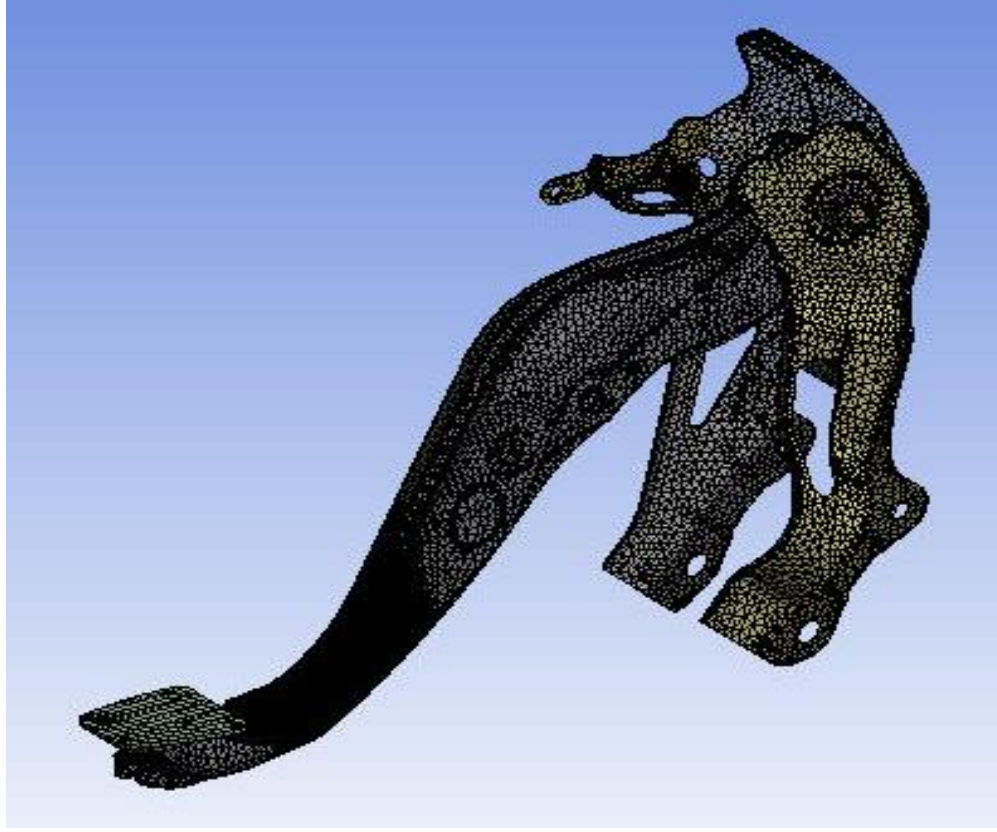
3. 2 Sonlu Elemanlar Modeli

3.2.1 Ağ Yapısının Oluşturulması

Fren pedalının katı modeli Catia v5 R22 ticari yazılımında oluşturulmuştur. Pedalın sonlu eleman modelini oluşturmak için, katı model Ansys Workbench v15.0 programına aktarılmıştır. Sonlu Eleman Modeli oluşturulurken, 196.000 mesh elemanı ve 335.200 düğüm noktası kullanılmıştır. Kaynak yapılan yüzeyleri tanımlamak için, “bonded” kontak tipi seçilmiştir. Şekil 3.1 ‘de 1.2-1.2 mm kalınlığındaki fren pedalının sonlu eleman modelinin resmi görülmektedir.



Şekil 3. 1 Fren Pedalı Katı Modeli



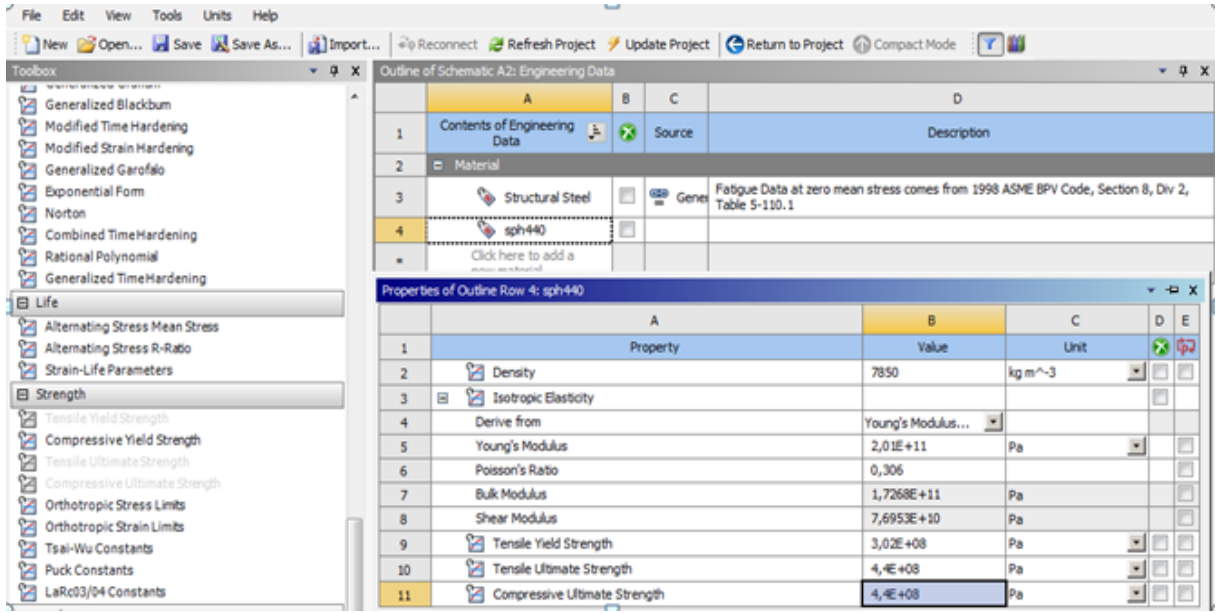
Şekil 3. 2 Fren Pedalı Sonlu Eleman Modeli

3.2.2 Pedal Malzemesi

Analizi yapılan pedal, SPC 440 sac metal malzemesi kullanılarak imal edilmiştir. Malzeme özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.1. SPC 440 Çeliğinin Malzeme Değerleri

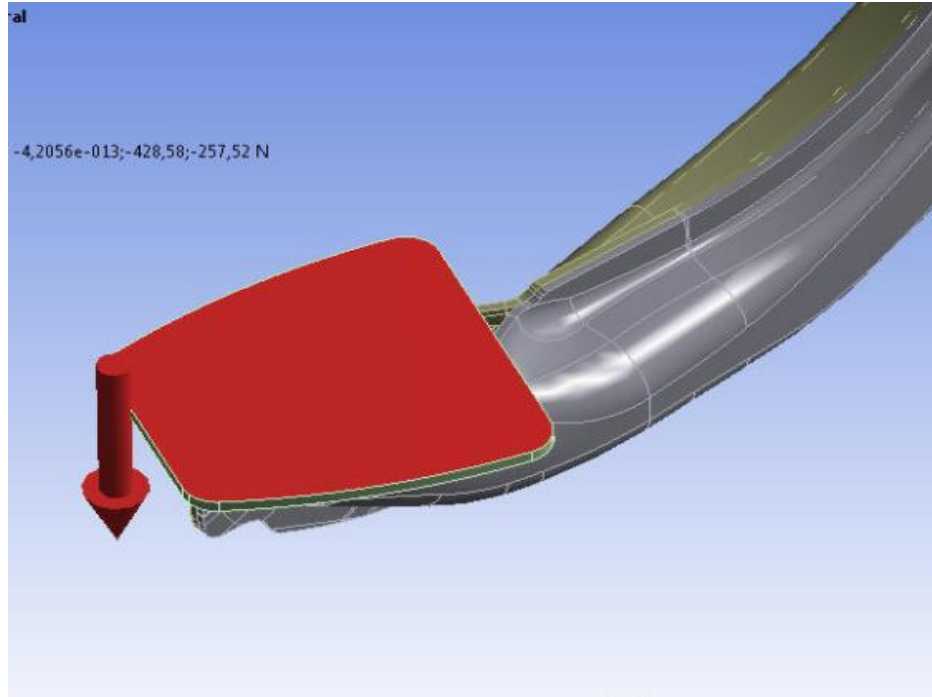
	Young modülü (GPa)	Poison Oranı	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
SPC 440	206	0.3	255	440



Şekil 3. 3 Workbench Menüsünde Malzeme Bilgilerinin Girilmesi

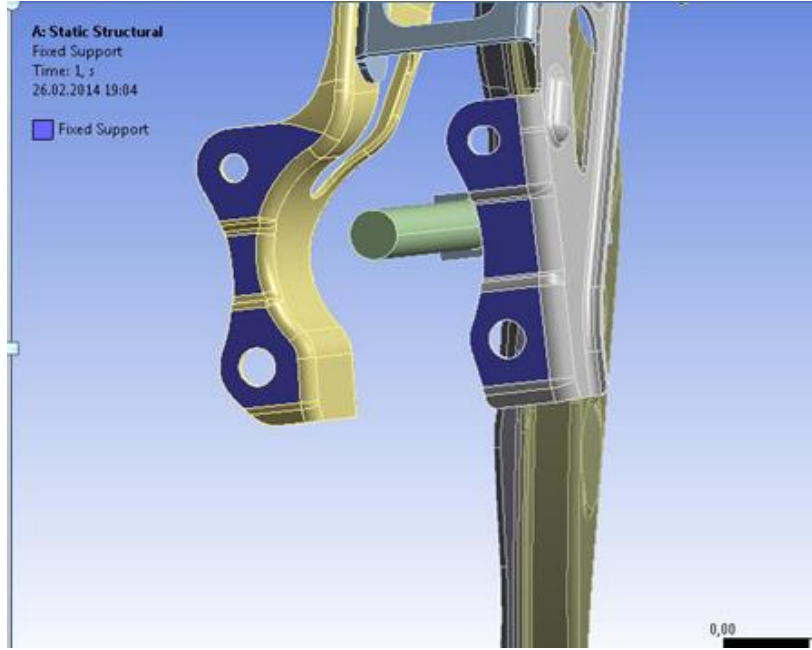
3.2.3 Sınır Şartlarının Tanımlanması

Toyota standartlarına göre, fren pedalı yük testlerinde 500 N uygulanmaktadır. Analizde de, gerçek yük koşullarını simüle etmek için, pedalın basma yüzeyine 500 N'luk yüzeysel yük uygulanmıştır.



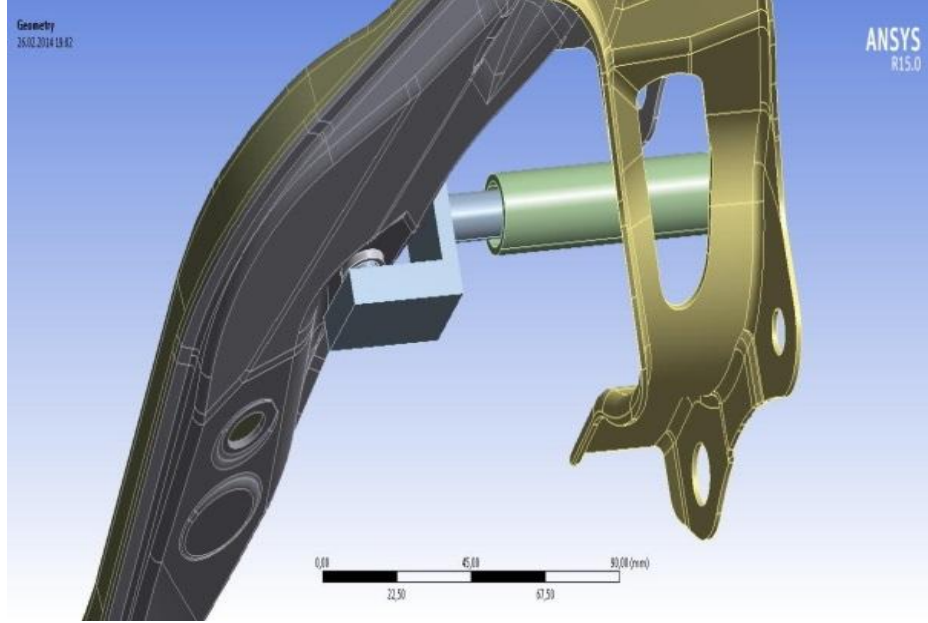
Şekil 3. 4 Fren Pedalı Basma Yüzeyine Uygulanan Yüzeysel Yük

Pedalın, taşıtın ön kısmına bağlandığı vida delikleri, analizde sabit mesnet olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3. 5 Fren Pedal Support Kısmı Arka Vida Delikleri

Fren merkez silindir çubuğunun, pedal koluna uygulayacağı tepki kuvvetinin etkisini görebilmek amacıyla, analizde kullanılacak modele, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi piston silindir mekanizması eklenmiştir.



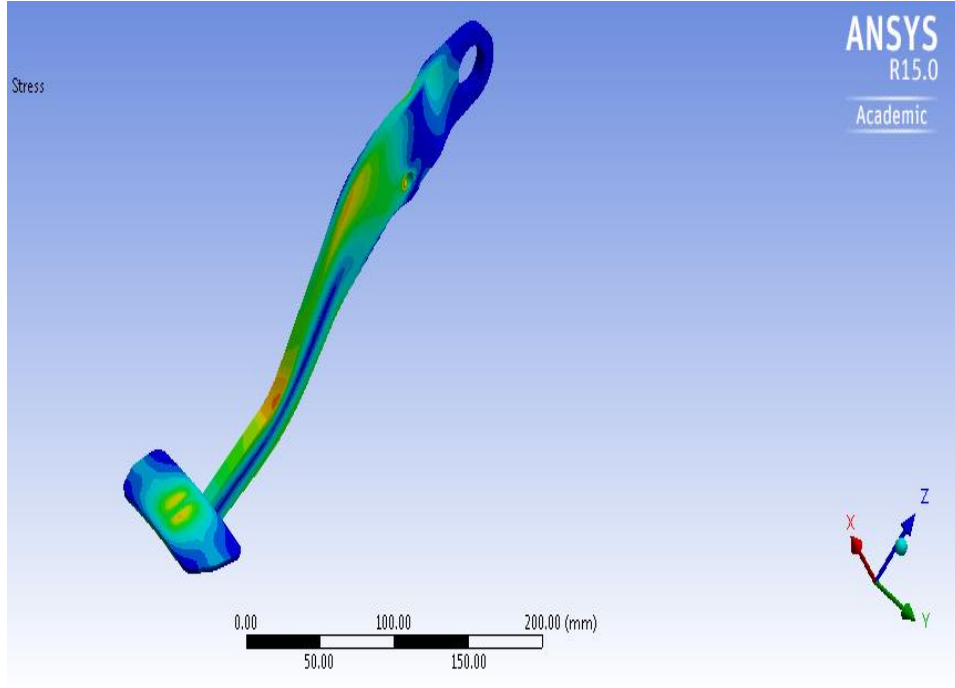
Şekil 3.6 Analizde Kullanılan Piston Silindir Eklentisi

3.3 Stres Analizi

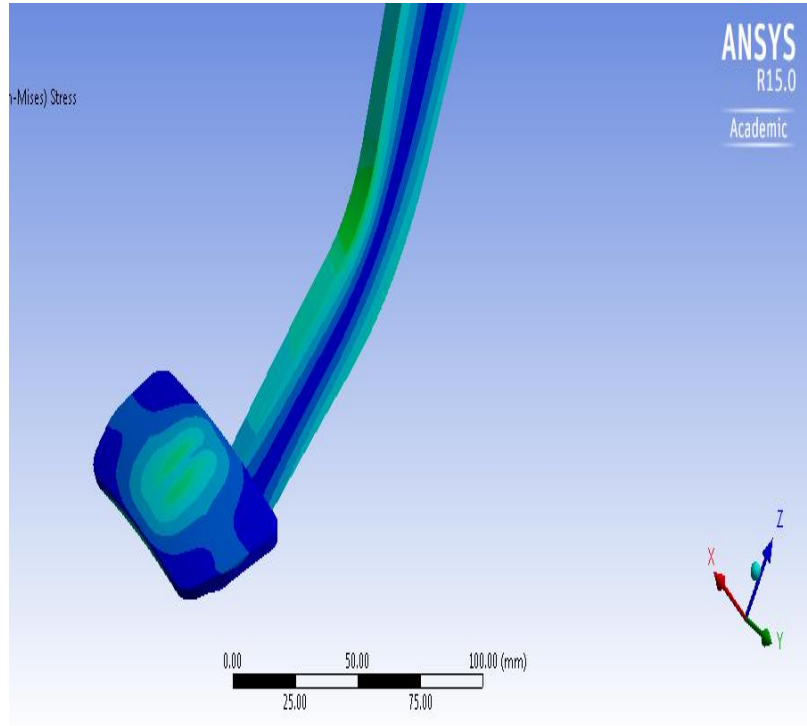
Fren pedalının stres analizi, Ansys Workbench v15.0 ticari yazımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Von Mises Stres teoremi kullanılmıştır.

3.3.1 8 mm Fren Pedalı Stres Analizi

Çalışmanın bu bölümünde, 8 mm kalınlığındaki pedalın stres ve yorulma analizi yapılmıştır. Pedal montaj geometrisi Ansys ortamına çağrılmış, uygun ağ yapısına büründürülmüş ve 500N'luk bir kuvvet uygulanmıştır. Maksimum stres, beklenen değerlerde ve pedal kolunun pad kısmına yakın kısımlarında olduğu görülmüştür. Sonrasında analiz, 1 milyon çevrim süresince tekrar ettirilmiş ve pedalın ömür değerine bakılmıştır. Analizler sonucunda pedal yüzeylerinde oluşan stres dağılımı Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de görülmektedir.



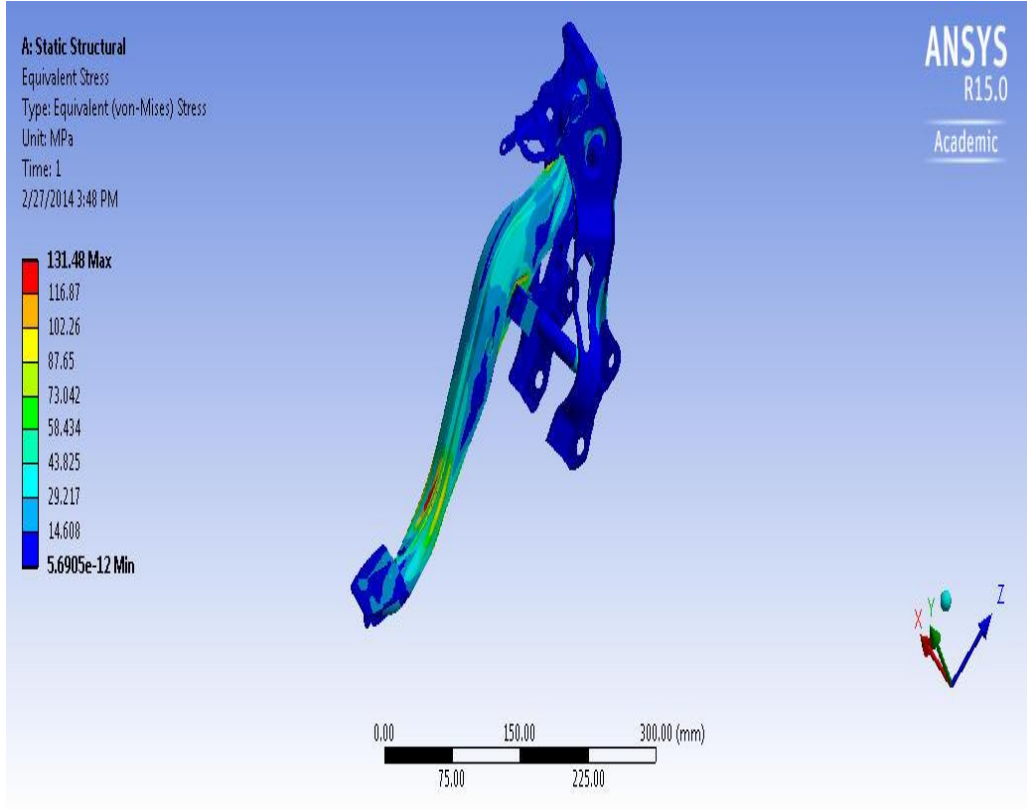
Şekil 3.7 8 mm Fren Pedalı Stres Analizi



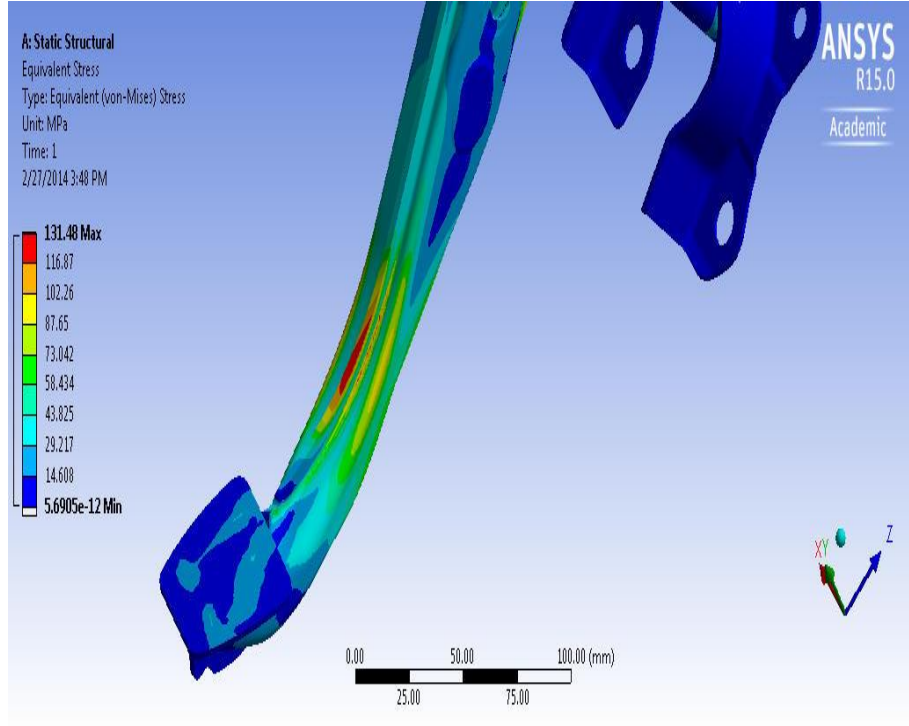
Şekil 3.8 Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (8mm)

3.3.2 1.4-1.4 mm Fren Pedalı Stres Analizi

Bu bölümde 1.4-1.4 mm kalınlığındaki pedalın stres ve yorulma analizi yapılmıştır. Maksimum stres değerleri beklenildiği üzere pedal kol kısmının incelediği bölgelerde görülmüş ve beklenen değerlerde hesaplanmıştır. Sonrasında analiz, 1 milyon çevrim süresince tekrar ettirilmiş ve pedalın ömür değerine bakılmıştır. Pedalda herhangi bir hasar görülmemiştir.



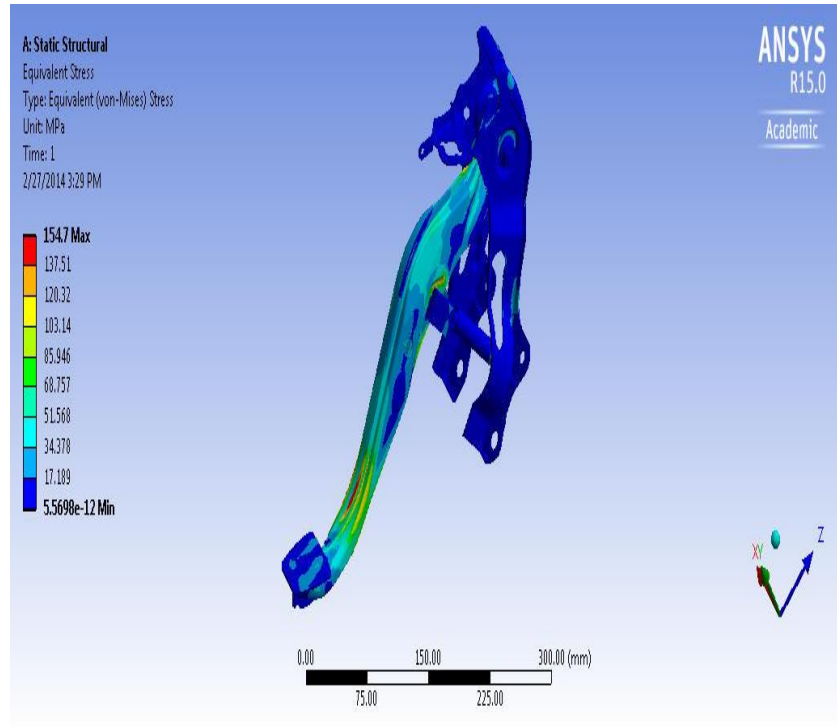
Şekil 3.9 1.4-1.4 mm Fren Pedalı Stres Analizi



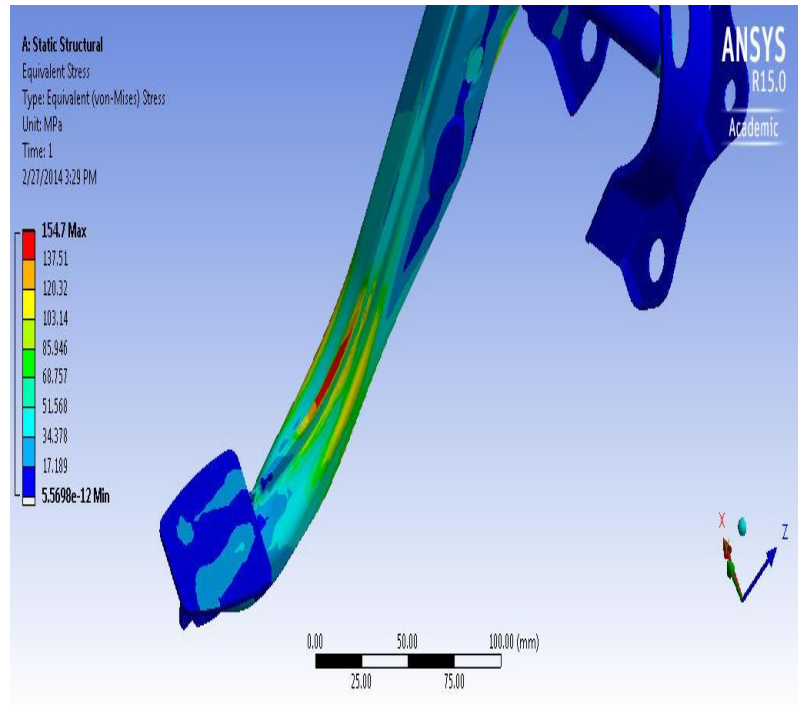
Şekil 3.10 Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1.4-1.4mm)

3.3.3 1.4-1.2 mm Fren Pedalı Stres Analizi

1.4-1.2 mm kalınlığındaki pedalın stres ve yorulma analizi yapılmıştır. 1.4-1.4'lük pedal analizindeki yöntemler uygulanmıştır. Maksimum stres değeri 1.4-1.4'lük pedala göre artmış ve aynı bölgede görülmüştür. Yorulma analizi sonucunda, pedalda ilk çatlakların 646350 çevrim sonunda görüldüğü tespit edilmiştir. Min. ömür bölgesi maksimum. stres bölgesiyle aynıdır.



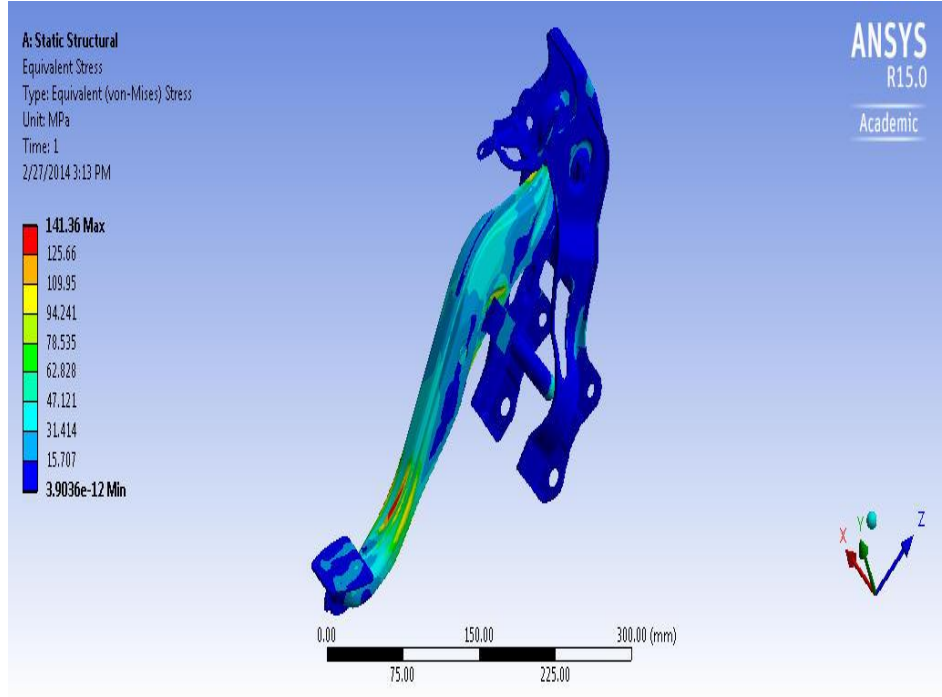
Şekil 3. 11 1.4-1.2 mm Fren Pedalı Stres Analizi



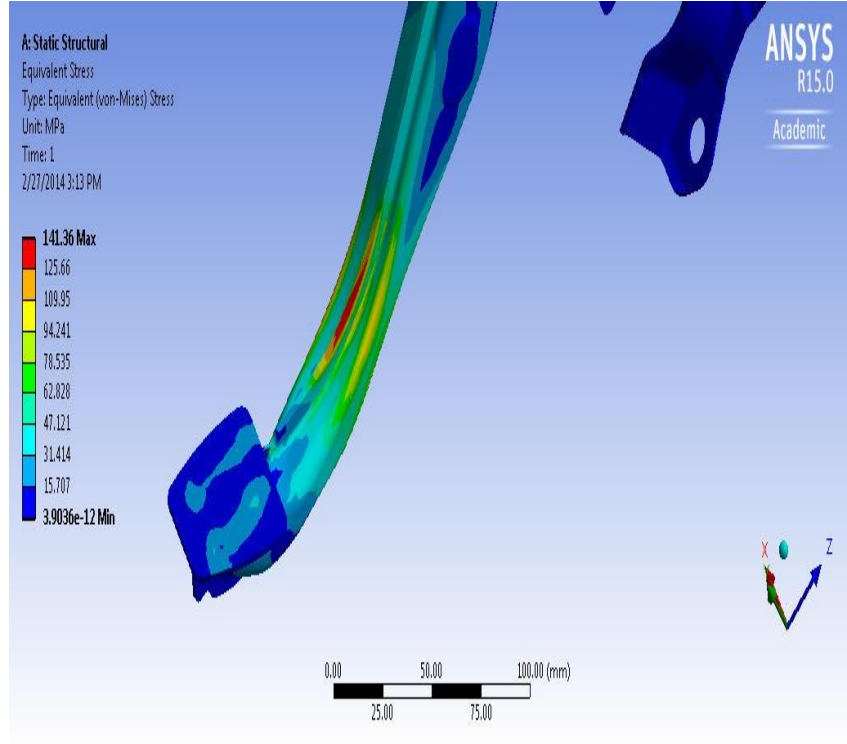
Şekil 3. 12 Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1.4-1.2mm)

3.3.4 1.2-1.4 mm Fren Pedalı Stres Analizi

1.2-1.4 mm kalınlığındaki pedalın stres ve yorulma analizi yapılmıştır. 1.4-1.4'lük pedal analizindeki yöntemler uygulanmıştır. Maksimum stres değeri 1.4-1.4'lük pedala göre artmış ve aynı bölgede görülmüştür. Yorulma analizi sonucunda, pedalda herhangi bir hasar görülmemiştir.



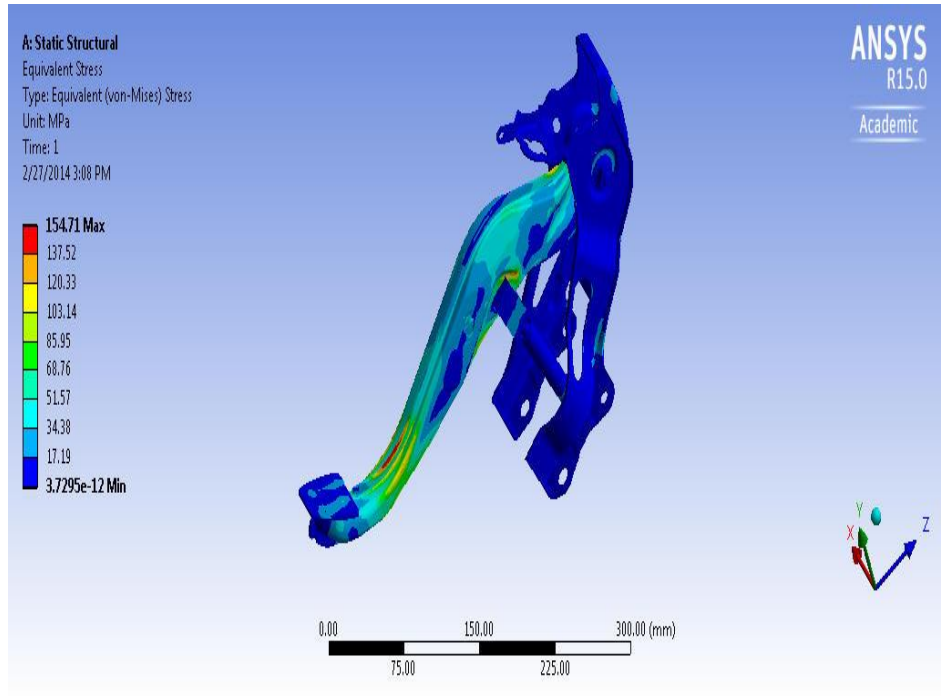
Şekil 3. 13 1.2-1.4 mm Fren Pedalı Stres Analizi



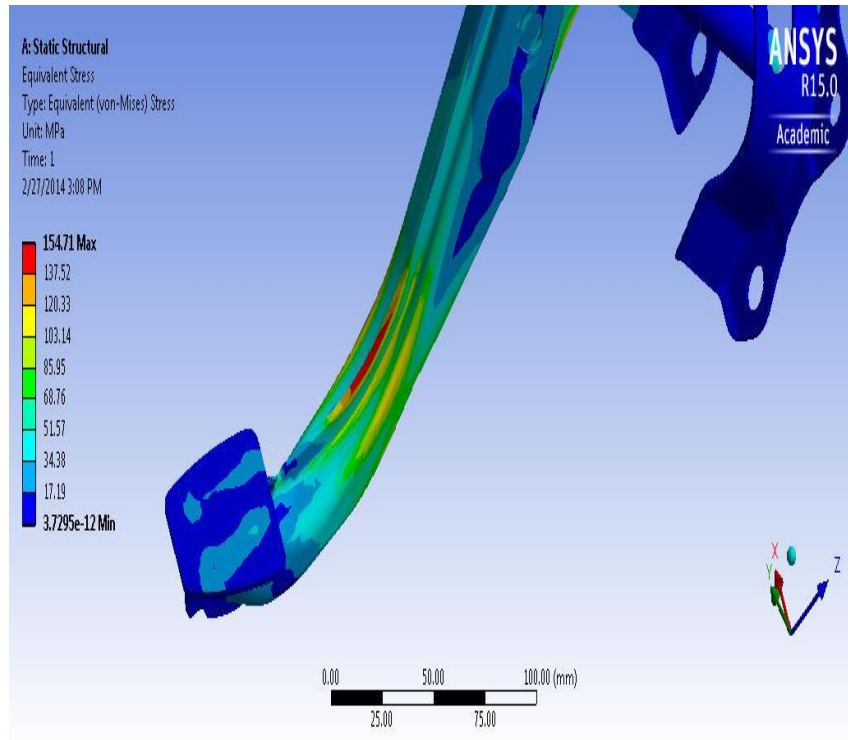
Şekil 3. 14 Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1.2-1.4mm)

3.3.5 1.2-1.2 mm Fren Pedalı Stres Analizi

1.2-1.2 mm kalınlığındaki pedalın stres ve yorulma analizi yapılmıştır. 1.4-1,4'lük pedal analizindeki yöntemler uygulanmıştır. Maksimum stres ve minimum ömür sayısının 1.4-1.2'lik pedalla aynı değerlerde olduğu, pedal ömür ve stres değerlerinde sağ taraftaki pedal kolunun belirleyici olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.15 1.2-1.2 mm Fren Pedalı Stres Analizi



Şekil 3. 16 Stres Yoğunluğunun Maksimum Olduğu Bölge (1.2-1.2mm)

BÖLÜM 4

YORULMA ANALİZİ

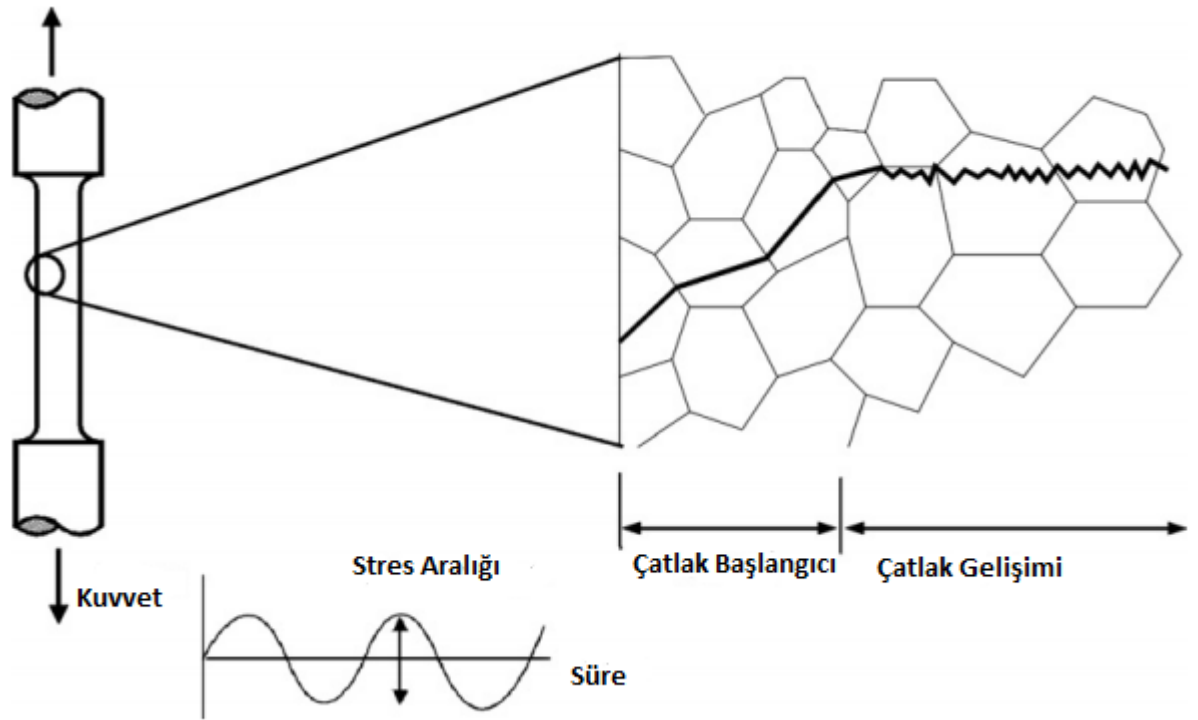
4.1 Yorulma Teorisi

Malzeme biliminde yorulma, çevrimsel bir yüklemeye uğrayan bir parçada, belirli bir bölgede kademeli olarak ilerleyen hasar olarak tanımlanmaktadır. Statik yapısal analizlerde, hesaplanan en büyük stres değerleri genellikle malzemenin akma ve çekme dayanımlarından daha küçüktür. Yorulma analizlerinde ise statik yüklemelerde hasara yol açacak olan stres değerlerinden daha düşük değerlerde, malzemede çatlaklar görülebilmektedir [18] .

Malzemelerde çatlak oluşumu 3 kısımda incelenmektedir:

- ✓Çatlak Başlangıcı,
- ✓Çatlak Gelişimi ve Yayılması,
- ✓Kırılma.

Yorulmaya bağlı çatlak başlangıcı, kesme gerinim enerjisinin yayılmasına bağlı olarak oluşmaktadır. Kesme stresleri, kayan düzlemler boyunca plastik deformasyona yol açmaktadır. Yükleme bir sinüs eğrisi boyunca döngüsel olarak uygulandıkça, kayan düzlemler öne ve arkaya hareket edip küçük ekstrüzyonlara sebebiyet vermekte ve bu durum sonucu $1\div 10$ mikron uzunluğunda çatlaklar oluşmaktadır [19].



Şekil 4. 1 Yorulmaya Bağlı Çatlak Oluşumu

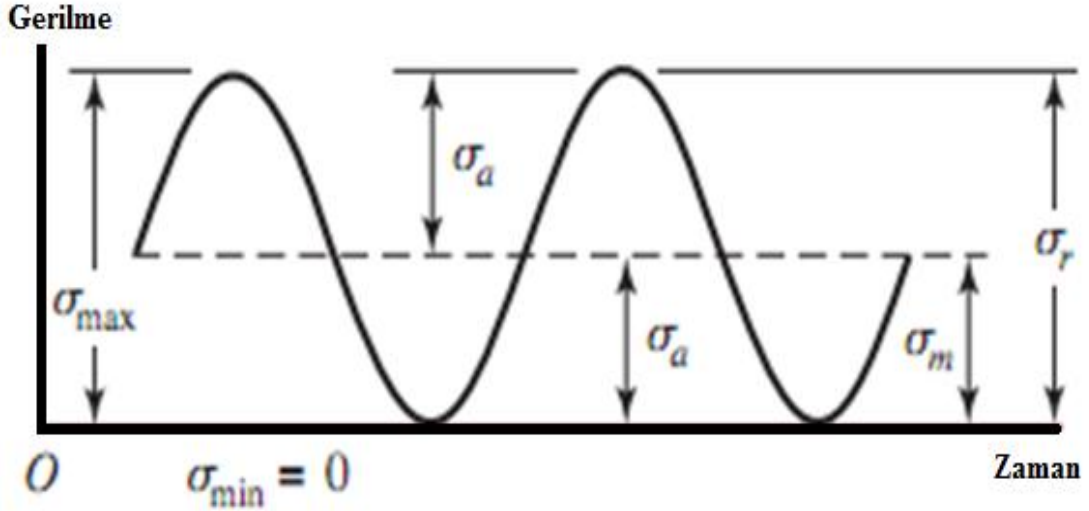
4.1.1 Stres-Ömür Metodu

Fren Pedalı yorulma analizlerinde stres-ömür metodu kullanılmıştır. Dayanma limiti, daha alt değerlerinde yorulma hasarının çok az görüldüğü veya hiç görülmediği, bir malzeme özelliğidir. Dayanma Limiti, malzemenin çeşidine göre değişen bir değer olsa da, çoğunlukla 10^6 olarak kabul edilmektedir. Bu limit; yüzey pürüzlülüğü, parçanın kesit şekli, yüklemenin çeşidi gibi etmenlere göre değişmektedir .

Stres-Ömür yaklaşımıyla, diğer yöntemlere kıyasla yorulma ömrü hakkında daha çabuk bilgi alınabilmektedir. Bu yüzden Stres-Ömür yaklaşımı yorulma analizlerinde en çok kullanılan yöntemdir. Çatlak başlangıcı hesaplamalarında stres ve gerinim tabanlı olmak üzere iki yaklaşım bulunmaktadır. Stres tabanlı yaklaşımlar genellikle yorulma ömrünün yani malzemenin dayanma limitinin 10^3 ve 10^6 arasında olduğu yüksek çevrim sayılı yorulma analizlerinde kullanılır.

4.2 Pedal Yorulma Analizi

Fren pedalının yorulma analizini gerçekleştirebilmek amacıyla, malzeme özellikleri de göz önünde bulundurularak stres ömür metodu seçilmiştir. Statik stres analizinde kullanılan von Mises gerilme sonuçlarıyla da daha iyi bir kıyaslama yapabilmek için bu yöntemin kullanılması uygun görülmüştür. Sıfır tabanlı (zero-based), sabit genlikte, doğrusal yükleme yapılmıştır.

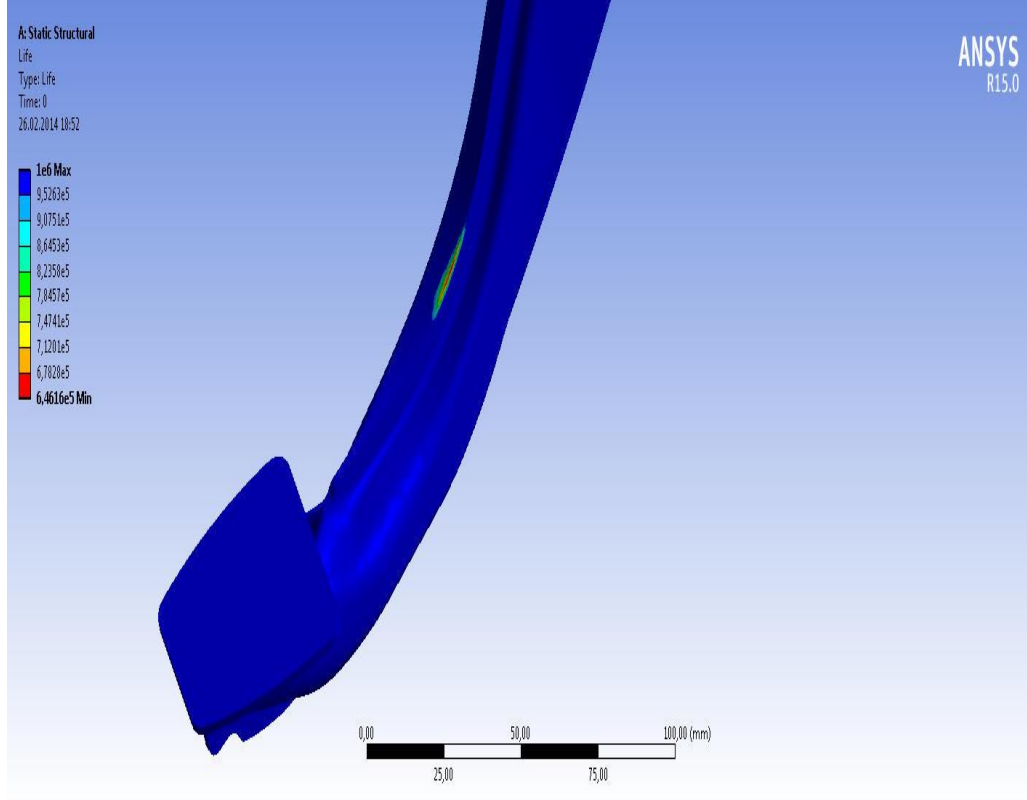


Şekil 4. 2 Sıfır tabanlı, sabit genlikte, doğrusal yükleme

Details of "Fatigue Tool" ⌵	
[-] Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	0,8
[-] Loading	
Type	Zero-Based
☐ Scale Factor	1,
[-] Definition	
Display Time	End Time
[-] Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	Goodman
Stress Component	Equivalent (Von Mises)
[-] Life Units	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

Şekil 4. 3 Ansys Workbench ortamında yorulma teorisi ve yükleme tipinin seçilmesi

Statik stres analizinde olduğu gibi yorulma analizinde de 500 N'luk yüzeysel kuvvet uygulanmış ve yükleme 1.000.000 çevrim boyunca uygulanmıştır. 1.2-1.2 mm kalınlığındaki fren pedalı tasarımının yorulma analizi sonucu Şekil 4.4'de görölmektedir.



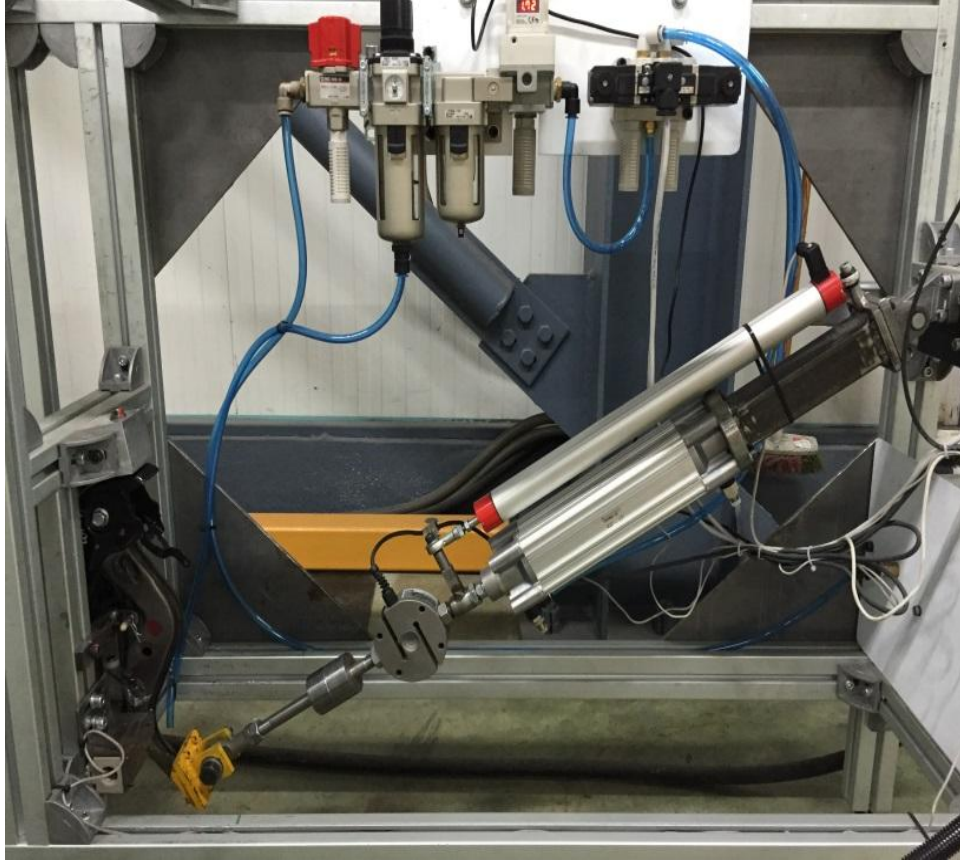
Şekil 4. 4 Fren Pedalı Yorulma Analizi

DENEYSEL ÇALIŞMA

Fren pedallarının statik stres ve yorulma analizlerini dorulamak amacıyla yorulma test düzeneği kurulmuştur. Test düzeneği kurulumunda, 1.000.000 çevrim altında belirli bir yük altındaki fren pedalının dayanımının ölçümü amaçlanmıştır.

5.1 Test Düzeneği Kurulumu

Test düzeneğinin kurulumunda, Toyota standartları temel alınmıştır. Yükün uygulanabilmesi için pnömatik hava silindiri kullanılmış, silindirin kattettiği mesafeyi ölçebilmek için lineer potansiyometre eklenmiştir. Uygulanan yükün görülebilmesi için s tipi yük hücresi kullanılmıştır. Kompresörden hava silindirine gelen havanın ölçümü için hava şartlandırıcısı düzeneğe eklenmiştir.



Şekil 5.1 Yorulma Test Düzeneği

Fren pedallarının fonksiyon testlerinde pedal belirli bir stok mesafesi kattetmektedir. Yorulma testlerinde ise pedal, maksimum strok uygulanmış şekilde konumlandırılmak zorundadır. Bu yüzden kurulan test düzeneğinde, pedal kullanıcı son strok seviyesine kadar kuvvet uygulamış şekilde hareketsiz konumlandırılmıştır. Kontrol PLC ile yapılmıştır. Konum manyetik kontak ile ölçülmüştür. Yük hücresi bilgisi bir yükseltici ile PLC ünitesine girilmiştir.



Şekil 5.2 Test Düzeneğinde Pedalın Konumu

Uygulanan kuvvet miktarının, hava basıncının ve çevrim sayısının görülebilmesi ve kontrolü amacıyla bir adet kontrol panosu kurulmuştur. Panoda PLC kontrolör kullanılmıştır.



Şekil 5. 3 Test Düzeneği Kontrol Panosu



Şekil 5. 4 Kontrol Sistemi Ekranı

5.2 Yorulma Testi

Yorulma testinde, pedalların üretildiği firmaya uygunluğu açısından Toyota standartları kullanılmıştır. 500 N'lık yük 1.000.000 çevrim boyunca pedala uygulanmıştır. Her 250.000 çevrimde bir test durdurulmuş, ön sprej ve çatlak spreji kullanılarak pedal yüzeylerindeki çatlak oluşumu gözlenmiştir.

5.3 Deneysel Çalışma

5.3.1 1.4-1.4 mm Fren Pedalı Yorulma Testi

Pedal, her 250.000 çevrim boyunca test cihazından sökülmüş ve çatlak kontrolü yapılmıştır. Pedal test cihazından söküldükten sonra BT-69 cleaner ile temizlenmiştir. Temizleme işlemi bittikten sonra BT-68 Penetrant ile pedal yüzeyi ile pedal spreylenecektir. Çatlak oluşmuş ise BT-68 spreynin çatlaklara nüfuz etmesi beklenmiştir. BT-68 yaklaşık 60 dakika bekletildikten sonra BT-69 ile pedal temizlenmiştir. Pedal temizlendikten sonra BT-70 developer pedal yüzeyine uygulanmış ve çatlak gözlemlenmiştir.

Bu işlemlerin sonucunda 1.4-1.4 mm fren pedalında herhangi bir çatlak tespit edilmemiştir.



Şekil 5. 5 250.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1.4-1.4 mm)



Şekil 5. 6 500.000 çevrim sonunda Yorulma Testi Sonucu (1.4-1.4 mm)



Şekil 5.7 1.000.000 Çevrim Sonunda Yorulma Testi Sonucu (1.4-1.4 mm)

5.3.2 1.2-1.2 mm Fren Pedalı Yorulma Testi

Üretilen yeni 1.2-1.2 mm kalınlığındaki fren pedalının yorulma testinde de, 1.4-1.4 mm 'lik fren pedalının testindeki prosedürler uygulanmıştır. Bu testin sonucunda da herhangi bir çatlak tespit gözlemlenmemiştir.



Şekil 5. 8 250.000 Çevrim Sonundaki Yorulma Testi Sonucu (1.2-1.2 mm)



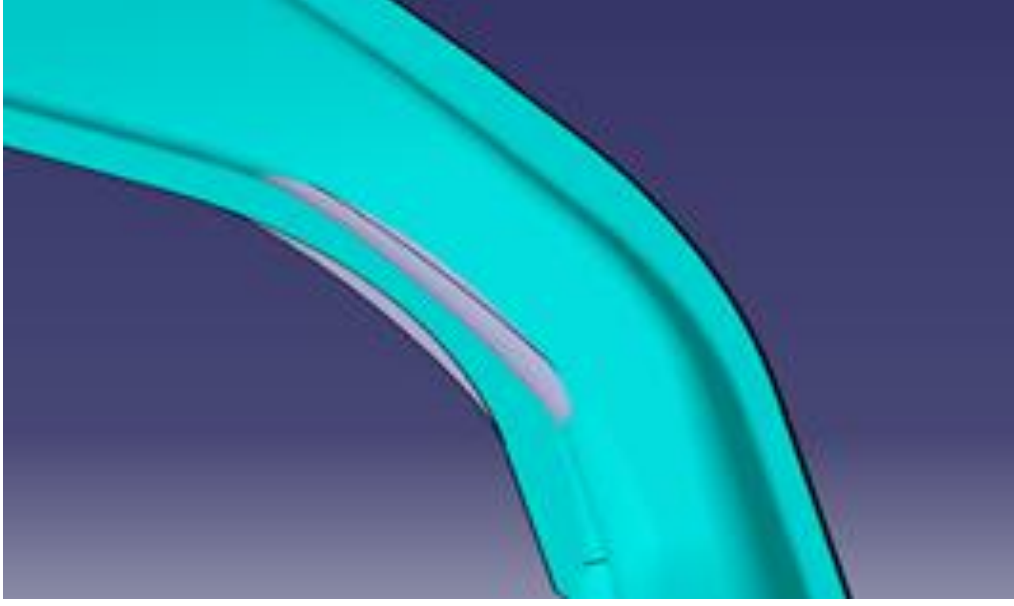
Şekil 5. 9 500.000 Çevrim Sonundaki Yorulma Testi Sonucu (1.2-1.2 mm)



Şekil 5. 10 1.000.000 Çevrim Sonundaki Yorulma Testi Sonucu (1.2-1.2 mm)

6.1 Revizyonu Yapılan Fren Pedalı

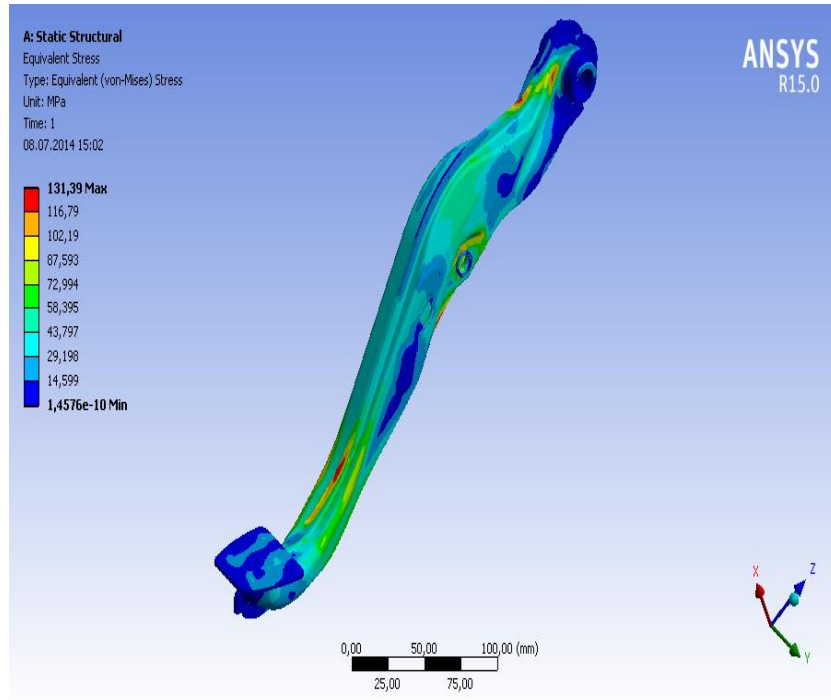
Yapılan statik stres analizi sonucunda, 1,2-1.2 mm kalınlığındaki fren pedalı geometrisinde stres dağılımının en yüksek olduğu bölgeler saptanmıştır. Yorulma analizinde, aynı yük değeri 1.000.000 çevrim boyunca fren pedalına uygulanmış, çatlak oluşan bölgeler ve pedal ömrü saptanmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkılarak, fren pedalı tasarımında değişikliğe gidilmiş ve stres dağılımının en yüksek olduğu yerleri kuvvetlendirmek adına pedal geometrisi değiştirilmiştir. İstenen değerler yakalanana kadar revizyonlar devam etmiştir.



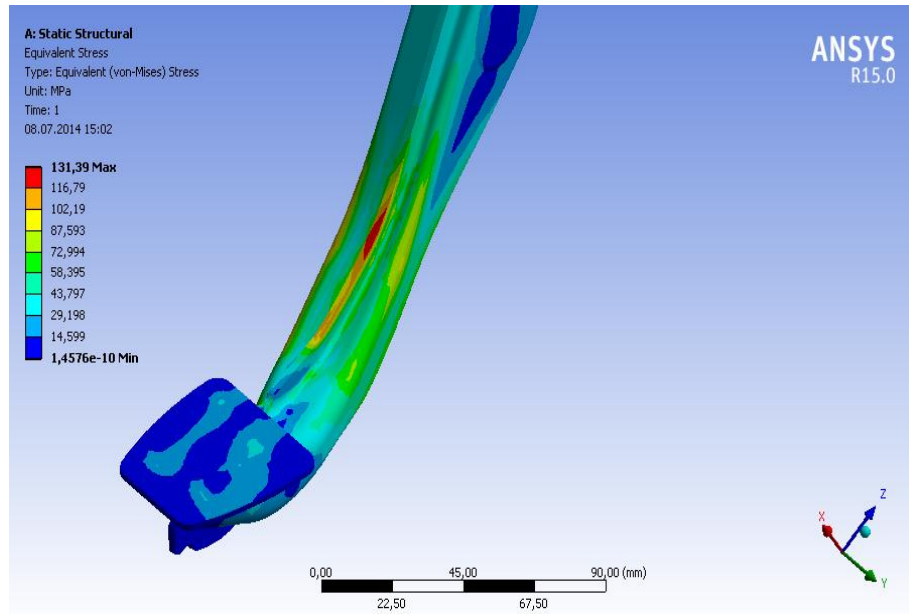
Şekil 6. 1 Pedal Geometrisinde Revize Edilen Bölgeler

6.1.1 Yeni Fren Pedalı Stres Analizi

Revize edilmiş fren pedalı tasarımının statik stres analizinde de önceki analizlerde uygulanan prosedürler izlenmiştir. Revize edilen fren pedalının statik stres analizi sonucunda maksimum stres değeri 131,39 Mpa olarak bulunmuştur. Stres yoğunluğu yine pedal kolunun inceldiği bölgelerde görülmüştür.



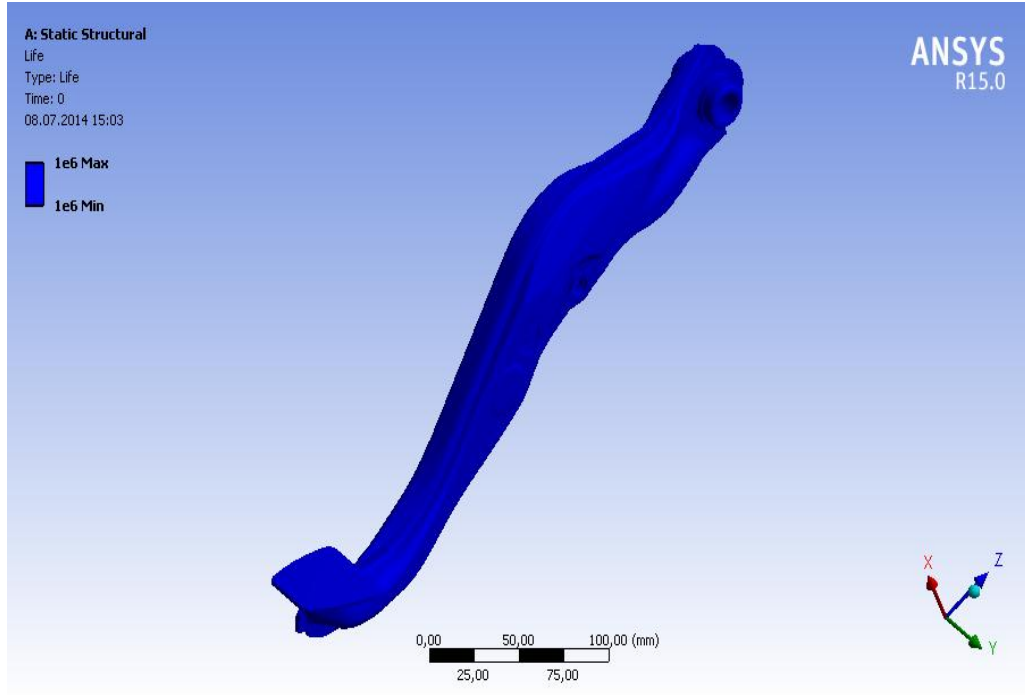
Şekil 6. 2 Revize Edilmiş Fren Pedalı Stres Dağılımı



Şekil 6. 3 Stres Dağılımının En Yüksek Olduğu Bölge

6.1.2 Yeni Fren Pedalı Yorulma Analizi

Revize Edilen fren pedalının yorulma analizinde de önceki analizlerde uygulanan prosedürler izlenmiştir. Yorulma analizi sonucunda pedal ömrü 1.000.000 olarak hesaplanmış ve çatlak görülmemiştir.



Şekil 6. 4 Yeni Fren Pedalı Yorulma Analizi

SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1 Sonuçların Karşılaştırılması

Bu çalışmada, ilk aşamada pedal üretimi etüt edilerek, pedalın son haline gelinceye kadar hangi aşamalardan geçtiği öğrenilmiştir. Mevcut fren pedalları incelenmiş ve pedal tasarımında dikkat edilen noktalar saptanmıştır. Bu incelemeyi takiben, ilk olarak 8 mm kalınlığındaki yekpare fren pedalının, sonrasında farklı kalınlıktaki iki parçalı dört fren pedalının (1.4-1.4 mm, 1.4-1.2 mm, 1.2-1.4 mm, 1.2-1.2 mm) yapısal analizleri yapılmıştır. Fren pedallarının üç boyutlu geometrileri Ansys programına çağırılmış, uygun ağ yapısına büründürülmüş ve sınır şartları uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle, maksimum stres ve minimum ömrün olduğu bölgeler saptanmış ve farklı fren pedallarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Tasarımı yapılan pedalın bilgisayar analizinin mutlaka deneyeyle sağlanması gerektiğinden, literatürdeki farklı pedal test cihazları incelenmiş ve fren pedalı test düzeneğinin projelendirilmesi yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak olan test düzeneği üç boyutlu olarak modellenmiştir.

Test Düzeneğinin kurulumundan sonra 1,4-1,4 mm ve 1,2-1,2 mm kalınlığındaki pedalların yorulma testleri yapılmış ve analiz sonuçlarının doğrulanması gerçekleştirilmiştir.

Farklı kalınlıktaki fren pedallarının stres- yorulma analizleri ve yorulma testleri sonucunda 1,2-1,2 mm kalınlığındaki pedal geometrisi revize edilmiş ve yeni bir fren pedalı geliştirilmiştir.

Çizelge 7.1 Farklı Kalınlıktaki Fren Pedallarının Stres ve Yorulma Analizleri Sonucu

Kalınlık		8 mm	1.4 + 1.4 mm	1.4 + 1.2 mm	1.2 + 1.4 mm	1.2 + 1.2 mm
Analiz	Statik (Maximum Stres Değeri)	107.46 Mpa	131,48 Mpa	154,7 Mpa	141,36 Mpa	154,71 mm
	Yorulma (Minimum Ömür Çevrim Sayısı)	1.000.000	1.000.000	646350	1.000.000	646160

Analiz sonuçları karşılaştırıldığında, 8 mm ve 1,4-1,4 mm kalınlığındaki fren pedallarında ömür yönünden bir sorun olmadığı, 1,2 mm kalınlığındaki pedallarda ise en yüksek stres miktarının daha yüksek ve ömür sayısının daha düşük olduğu görülmüştür.

7.2 Sonuç ve Öneriler

Optimizasyon yönünde yapılan bu çalışma sonucunda kullanılan pedal malzeme kalınlığının azaltılması ile araç ağırlığı hafifletilmiş olup yerli malzeme kullanılmıştır. Amaç doğrultusunda yeni tasarımı yapılan hafifletilmiş pedal, geliştirilen test ekipmanında ömür testlerinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Geliştirilen test ekipmanının PLC yazılımları Üniversite –Sanayi işbirliği çerçevesinde gerçekleştirilerek TOYOTETSU bünyesinde ilk defa test ekipmanı yapılmıştır.

Bu tez kapsamında, geliştirilen fren pedalları ile birim pedal maliyeti azaltılabilmektedir. Geliştirilen yeni pedalın ömür testlerinin ülke içinde yapılabilmesi sağlanmıştır. Ülkemizin hammaddesini ithal ettiği fren pedalını daha ince malzeme ile üretilebilmesi, hammadde yerlileştirme denemeleri ile ülke kaynaklarının, yurtdışından hammadde temini amaçlı kullanımının azaltılabilmesine olanak sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Day, J.A., Ho, H.P., Hussain, K. ve Johnstone, A., (2009). Brake System Simulation to Predict Brake Pedal Feel in a Passenger Car, SAE 2009 Brake Colloquim and Exhibition, 2-4 March 2009, New York.
- [2] Noh, B. W., Choi, Y.W. ve Bae S. I., (2006). "A Study on Load Analysis and Durability Test Condition of Automobile Brake Pedal", Key Engineering Materials, 324-325:1273-1276.
- [3] Hamid, N. A., (2007). The Design of Light Weight Automotive Brake Pedal, MSc Dissertation, Coventry University Faculty of Engineering and Computing, Coventry.
- [4] Sapuan, S. M., (2005). "A Conceptual Design of the Concurrent Engineering Design System for Polymeric-Based Composite Automotive Pedals", American Journal of Applied Sciences, 2:514-525.
- [5] Brunnings, W.D., Hauck, C. ve Muller, D., (1989). "Development of Vehicle Pedals Made from Glass-Fibre Reinforced Polyamide", Kunststoffe German Plastics, 79:23-25.
- [6] Puhn, F., (1985). Brake Handbook, Second Edition, HPbooks, USA.
- [7] Limpert, R., (1999). Brake Design and Safety, Second Edition, Society of Automotive Engineers Inc, USA.
- [8] Lee, B.Y. ve Lee, H.W., (2007). "Shape Optimal Design to Minimize the Weight of the Pedal Arm of an Automotive Clutch", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, 31:269-276.
- [9] Andrew, J.D., (2014). Braking of Road Vehicles, First Edition, Butterworth-Heinemann, USA.
- [10] Breuer, B.J. ve Dausend, U., (2003). Advanced Brake Technology, First Edition, USA.

- [11] Fillikçioğlu, C., (1998). Taşıt Frenlerinde Balata Çeşidinin ve Çalışma Şartlarının Frenleme Performansına Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] Suddin, M.N., Mohd, T.M., Ramli, F.R. ve Shamsul, A.S., (2014). "Topology Optimization in Automotive Brake Pedal Redesign", International Journal of Engineering and Technology, 6:398.
- [13] Pektaş, S.H., (2006). Fren Mekanizması Yorulma Testinin FEA Metoduyla Simulasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [14] Göktan, A.G., Güney, A. Ve Ereke M., (1995). Taşıt Frenleri, İTÜ Makine Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul.
- [15] Halderman, J.D. ve Mitchell, C.D., (2000). Automotive Brake Systems, Prentice Hall, Pennsylvania
- [16] IEA, International Energy Agency, (2012). World Energy Outlook, TÜSiAD-T/2012.12.537.
- [17] BP (British Petroleum), (2013). Energy Outlook 2030.
- [18] World Nuclear Association, (2012). "World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements", <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>, 16 Aralık 2013.
- [19] Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, (2012). Faaliyet Raporu.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sefa KALE
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.06.1986 / MERSİN
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sefakale@yildiz.edu.tr, sefa-kale@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Müh.	Marmara Ün.	2011
Lise	Sayısal	Yusuf Kalkavan And.Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-Devam Ediyor	YTÜ	Arş. Gör.

YAYINLAR

Bildiri

1. Kale, S., Ergenç, A.T., Ergenc. A.F., Sahin., I., Pestelli., V. ve Dagdelen, K., (2014).
“Strength Analysis of a Reduced Weight Automotive Brake Pedal by Using Finite Element Method”,AVTECH’14,İstanbul.