

## Fatigue Life Evaluation of a Leaf Spring by FEA Using Rough Road Data

 Arif Şenol ŞENER<sup>1,\*</sup> , Yunus MARAL<sup>2</sup> 
<sup>1</sup> Nişantaşı University Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 34800, Maslak /ISTANBUL

<sup>2</sup>Pracen Co. ULUTEK Görükle, Üniversite Mah. -1 Sok.No:933/B013Nilüfer, Görükle/BURSA

### Graphical/Tabular Abstract

#### Article Info:

Research article  
 Received: 22/07/2019  
 Revision: 19/09/2019  
 Accepted: 06/10/2019

#### Highlights

- Worst Case.
- Leaf Spring.
- Fatigue Life

#### Keywords

Road Data  
 Characteristics,  
 Rope potentiometer,  
 Worst case,  
 FEA,  
 Fatigue,  
 Miner rule

In this study, fatigue analysis of a rear leaf spring, which is widely used in commercial vehicles, was investigated. Fatigue simulations are four types, such as four-poster, road test simulation, bench test and computer aided analysis. With FEA, the shape changes of leaf spring structure in linear and nonlinear methods were investigated. For the light commercial vehicle, the heaviest road track data within the newly designed reliability and fatigue routes was extrapolated to 200.000 km and leaf spring was applied as external load. Fatigue analysis of leaf spring was performed.



Figure A. 3D model of the leaf spring

**Purpose:** In this study, the heaviest road profile of the reliability test trucks determined by the equipped test vehicle at Standard -C load condition very close to the factory. The analysis and evaluation of the data of a rope potentiometer measuring leaf spring movements were performed. The results of the leaf spring factory entrance acceptance tests were performed by linear and non-linear finite element method, and the convergence of computer simulation was determined. Fatigue life analysis according to finite element method of leaf spring was made by reference to Miner rule.

**Theory and Methods:** Based on the S-N method and taking into account the largest prime stress, according to the Von-Misses method, the data of the heaviest test track was extrapolated to 200,000 km and the fatigue Miner rule was applied.

**Results:** According to S-N method, when the most critical level of leaf spring life is repeated 156.6 times 200.000 km, breakage has started and hence, even in the worst case, leaf spring has a very endless life.

**Conclusion:** 3D design of rear leaf spring of the light commercial vehicle was realized. Reliability and fatigue test trucks were determined and the heaviest track was stated according to missions. Linear and nonlinear collapse test simulation were executed referencing collapse test. Hexagon type 3D element used for meshing the leaf spring due to gives the more precise results, so it is generally meshed with hexagon type element except for critical places. After applying the heaviest load data on the fatigue track, it was confirmed that there was no fatigue damage at the projected 200,000 km in the rear leaf spring.



## Bozuk Yol Verileri Kullanarak Bir Yaprak Yayın Yorulma Ömrünün SEA ile Değerlendirilmesi

Arif Şenol ŞENER<sup>1,\*</sup> , Yunus MARAL<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34000, Maslak /İSTANBUL

<sup>2</sup>Pracen A.Ş. ULUTEK Görükle Mah. Üniversite Mah. -1 Sok. No: 933 / B013 Nilüfer, Görükle /BURSA

### Öz

Araçlardaki yorulma kaynaklı hataları genelde uzun zamanda yani yüksek km'ler de ortaya çıkan, hem müşteri hem de üretici firmanın karşılaşmak istemediği ciddi bir kalite hatasıdır. Bu makalede hafif bir ticari oto için üretici firma yakınlarında oluşturulmuş olan güvenilirlik ve yorulma testleri parkurlarından en ağır olanının yol profil karakteristiği ipli bir potansiyometre ile ölçümü ve kullanılabilir hale getirilmesi için veri işleme yapılmıştır. Ardından sol arka yaprak yayının bilgisayar programı ile modellenmesi, meshlenmesi, statik analizleri ile yorulma analizinin Sonlu Elemanlar Analizi yöntemi vasıtasıyla hesaplanması yapılarak bu yaprak yayının yorulma hayatının değerlendirilmesi yapılmıştır.

### Makale Bilgisi

*Araştırma makalesi*  
 Başvuru: 22/07/2019  
 Düzeltme: 19/09/2019  
 Kabul: 06/10/2019

### Anahtar Kelimeler

*Yol Karakteristik Verisi,*  
*İpli potansiyometre,*  
*En Kötü Durum,*  
*SEA,*  
*Yorulma,*  
*Miner kuralı*

### Keywords

*Road Data*  
*Characteristics,*  
*Rope potentiometer,*  
*Worst case,*  
*FEA,*  
*Fatigue,*  
*Miner rule*

## Fatigue Life Evaluation of a Leaf Spring by FEA Using Rough Road Data

### Abstract

Fatigue-related faults in vehicles usually occur over a long period of time, ie; high km, both the customer and the manufacturer does not want to encounter is a serious quality error. In this article, data processing has been carried out to measure and make available the heaviest of the reliability and fatigue test tracks that have been established in the vicinity of the manufacturer for a light commercial car with a rope potentiometer. Then, the computerized modeling, meshing, static analysis and fatigue analysis of the left posterior leaf spring were calculated by Finite Element Analysis method and the fatigue life of this leaf spring was evaluated.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde otomobil firmaları kalite yönünden rakipleriyle rekabet halinde iken aynı şekilde ağırlık ve maliyet azaltma gibi iki önemli hedefi de inovatif ve akılcı çözümlerle kısa zamanda sürdürmek zorundadır. Araç parçalarındaki yorulma; yol profili düzgünlüklerden ve araç direksiyonlama vb hareketlerinden dolayı ortaya çıkan kalite hatalarından biri olup uzun km'lerde veya uzun sürede oluşması nedeniyle kritiktir[1-3].

Yorulma hatasını etkileyen en önemli parametreler geometri, çalışma koşulları, dış yükün büyüklüğü ve tekrarıdır. Bu parametrelerden en kritiği olan dış yükün tespit edilmesi çok önemlidir[4]. Yorulma hatalarının tarihçesine bakıldığında; 1940 yıllarında yolların gelişmesi ve müşterilerin çok km yapmaları üretici firmaları yorulma hatalarıyla karşılaşmalarına ve bu hatayı gidermek için çeşitli simülasyon testleriyle dış yükün tespit ile ilgili uygulamalar yapılmıştır.

Bunlar;

- Tahminlerden( Guesswork)
- En kötü durumlardan(Worst Casing )
- Daha önceki tecrübe edilmiş deneyimlerden (Established Practice)
- Temel yol yükleme verilerinden (Basic Road Load Data)
- Yasalardan(Legislature)
- Müşteri profiline göre (Mission Profile)[5].

Bu çalışmalardan en popüler ve modern olanı müşteri profilini esas alan çalışmadır. Bu çalışmalara örnek olarak ıslak ve kuru yer şartlarında traktör kullanımı ve tarımla ilgili olduğu kadar traktörün tarımla ilgili olmayan kullanım şartlarını içeren bir çalışma Hindistan’da ETEC ( Eicher Tractors Engineering Centre ) and ARIA ( Automotive Research Association of India tarafından yapılmıştır [5]. Bir diğer çalışma FIAT şirketi tarafından Brezilya ve İtalya pazarını içeren bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Brezilya sürücü davranışlarını ve Brezilya yollarından toplanan yol karakteristiklerinin İtalya özel test parkuru ve cihazlarında mukayesesini frekans bazlı yorulma olarak yapılmıştır [6]. Diğer bir çalışma FIAT şirketi AMOA (automobile mode of operation systems) Ritmo 60 ve Tipo1372 DGT üzerinde müşteri korelasyonu ile ilgili bir çalışma yapmıştır [7-9].

Yaprak yay ile benzer çalışmalardan biri E-N birim uzama bazlı yorulma metoduna göre bir otobüsün çift yapraklı yayınının strain-gauge’lerle 3 farklı yol tipinde ölçümü yapılarak yaprak yay yorulma etkilerini sonlu elemanlar modeli ile hesaplanıp mukayeseleri yapılmıştır[10].

Diğer bir çalışmada S-N yüksek çevrimli yorulma metoduna göre, iki grup yatay ve dikey haddeme sonucu 51CrV yaprak yay malzemesi ile üretilen ve ayrıca farklı temperleme sıcaklıklarında uygulamaları ile elde edilmiş olan yaprak yayların yorulma analiz sonuçları incelenmiştir[11]. Bir başka çalışma birden çok kamyonun yalnızca bozuk yol profilinden 3 farklı hızda veriler alınarak bir yük spekturumu oluşturulup hem SEM ( sonlu elemanlar metodu) ile analiz ve hem de 5 eksenli bir test bankosuyla yaprak yay yorulma dayanımı incelemiştir[12]. Başka bir çalışmada dört yapraklı çelik bir yayın laboratuvar ve SEM kullanarak ANSYS ile yaprak yayda statik analiz sonuçlarında elde edilen veriler temel alınarak bir fiberglastan yapılmış yaprak yayın ANSYS programı ile elde edilmiştir. Bu çalışmada kompozit yayın metal yay göre ağırlığı % 80 azalmış olup yayın hiperbolikliği azalırken yay burçlarından aks bağlantı noktasına doğru yay kesitinin arttığı gözlemlenmiştir[13].

Süspansiyon sistemi, araç şasesi ve tekerlekler arasında yer alan ve yay, amortisör, burç, çubuk, bağlantı ve kollardan oluşan bir sistemdir. Süspansiyon sistemi gövdeyi akslar üzerinde tutan elemandır. Gerek araç dinamiğinden kaynaklanan gerekse yoldaki düzgünlüklerden meydana gelen hareketleri sönmüleyen süspansiyon sistemi ayrıca aracın hayati önemi taşıyan malzeme listesinde yer almaktadır.

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı; üretici firmanın bulunduğu Bursa ilinde yol pürüzlülük seviyesi; çukur, tümsek ve toprak yoldan oluşan, en ağır olarak tespit edilen bir gerçek yol verisi kullanılmış olup ölçümler diğer çalışmalarda olduğu gibi kısmi olarak alınmamış, yolun tamamı ölçülerek yapılmıştır. Diğer çalışmalarda bakıldığında yorulma parkurları genelde özel yorulma ve NVH test parkurlarınının bir kısmı karışımı olarak alınıp oluşturulmuştur.

Bu makalede; hafif bir ticari oto (HTA)için üretici firma yakınlarında oluşturulmuş olan güvenilirlik ve yorulma testleri parkurlarından en ağır olanının yol profil karakteristiği, arka süspansiyon yol pürüzlülük değerinin ölçümünün bir ipli potansiyometre ile ölçümünü, daha sonra bu verilerin işlenerek test yükünün belirlenmesini, ardından arka süspansiyon yaprak yayının Solidworks tabanlı bilgisayar programı ile modellenmesini, Ansys programı ile yaprak yayın meshlenmesini, sınır koşullarının belirlenmesini ve statik analizlerinin ilgili firma giriş kalite kontrol yaprak yay çökme testine göre mukayesesini ve yorulma analizinin SEA yöntemi vasıtasıyla hesaplanmasını ve yaprak yayın yorulma hayatının değerlendirilmesini içermektedir[4-5,7-9,14 ].

## 2. UYGULAMA (IMPLEMENTATION)

### 2.1. Test Aracının Teknik Özellikleri ve Veri toplama Karakteristikleri(Technical Characteristics of the Test Vehicle and Data Acquisition)

Bir taşıtın servis hayatında, taşıt bileşenleri çoğu zaman değişken yüklere maruz kalır. Yol pürüzlülüğü, manevralar, frenleme, direksiyon, güç üreten motor ve şanzımanlama hareketleri bir bileşen üzerine etki eder ya da daha az tamamlanmış elastik sistemler, zamanla-hareket eden işletim yükleri, taşıt parçalarının doğal modlarını tetikleyebilir. Genelde dış yükleri doğrudan gözlemlemek zordur: Genellikle, sadece yapının belirli bir noktasındaki tepkileri ölçülür[4,14]. Tablo 1’de test aracının teknik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Test aracının teknik özellikleri

<i>Parametre</i>	<i>Değeri</i>
<i>Ara. Tipi</i>	<i>5.173.500</i>
<i>Şasi no</i>	<i>2119394</i>
<i>Motor no</i>	<i>1.9 Dizel</i>
<i>Motor tipi</i>	<i>160 km/h</i>
<i>Maksimum hız</i>	<i>Pirelli P 3000 175/70 R14'' 88T</i>
<i>Tekerlek tipi</i>	<i>1 şoför+4 kişi+100 kg bagaj =1750 kg</i>
<i>Araç Yük kapasitesi</i>	<i>430.8 kg</i>
<i>Ön sol teker</i>	<i>413.7 kg</i>
<i>Arka sol teker</i>	<i>413.7 kg</i>
<i>Ön sağ teker</i>	<i>456.2 kg</i>
<i>Arka sağ teker</i>	<i>413.1 kg</i>

Bu çalışmada test aracı toplam ağırlığı 1720 kg olup aracın Standart C tam yüklü ağırlığına (1750 kg) a çok yakındır. Test Standart-C koşullarında olmak üzere, bir şoför, bir mühendis ve cihazlarla birlikte ilave yüklerle araç Standart-C tam yük koşullarında test edilmiştir. Araç sürat hızı 45-50 km arasındadır. Test yapılan bozuk yol 20 km gidiş olarak veri toplanmış olup çukur ve tümseklerden oluşan toprak bir yoldur. Çukurların derinliği yaklaşık olarak 5-12 cm arasında olup bunu tamamlayan tümsekli bir yoldan oluşmaktadır. Araç hızı 45-60 km/h hız aralığında olup çok sayıda ardı ardına çukur ve tümseklerden oluşmasından dolayı daha üst bir hıza çıkılamamıştır.



**Şekil 1.** Sağ arka yaprak yay ve ipli potansiyometre montaj yapılmış resmi

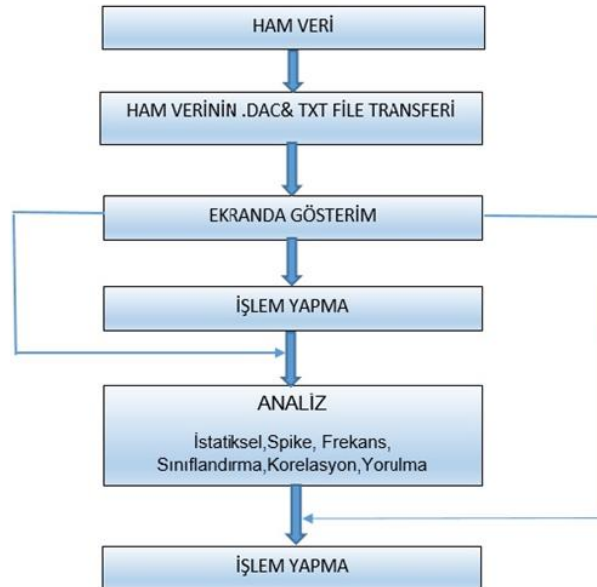
Veriler tek gidiş yönünde Geçit köyü ile Bursa-Karacabey bağlantı yolun kadar ölçülmüştür. Bu çalışmada yol pürüzlülüğü ve manevralardan dolayı arka süspansiyonda düşey yönde oluşacak reaksiyon hareketlerinin ölçülmesi amacıyla Şekil 1 de görüldüğü gibi 0-30 cm arasında çalışan 10 Vdc beslemeli, ipli bir potansiyometre kullanılmıştır. Veriler 400 Hz sampling rate oranında kaydedilmiştir[14]. Bu çalışmada hafif bir ticari otonun fabrika civarı yorulma parkurlarını oluşturmak amacıyla Bursa civarı şehir içi, şehir dışı, dağ-tepe yol ve bozuk parkurlardan veri toplanmıştır. Bazı kullanılan yollar, karakteristikleri ölçüldükten sonra yol testlerinde iptal edilmiş, bazı yeni yollar eklenmiştir. Bu makalede bu yolar arasında süspansiyona yorulma etkisi en fazla olan; çukur ve tümseklerden oluşan Bursa'daki bir toprak ağır test yolunun etkilerinin incelenmesi yapılmıştır. Şekil 2 de Bursa ilinde alınan ağır test yol parkurunun dikey yol etkilerinin ölçüldüğü sağ arka yaprak yaydan ipli potansiyometre ile alınan 20 km lik yol sinyali görülmektedir.



**Şekil 2.** Ağır test parkurunda ölçülen sağ arka yaprak yay süspansiyon hareketlerinin dikey yöndeki yük –zaman grafiği

## 2.2 Veri İşleme( Data Elaboration)

Bu çalışmada kullanılan veri analizi yöntemi Şekil 3'de gösterilmiştir. Toplanan sinyaller spike analizi, filtreleme analizi, aritmetik işlemler, frekans analizi vb. işlemler nCode Design Life programında işlenmiştir[15].



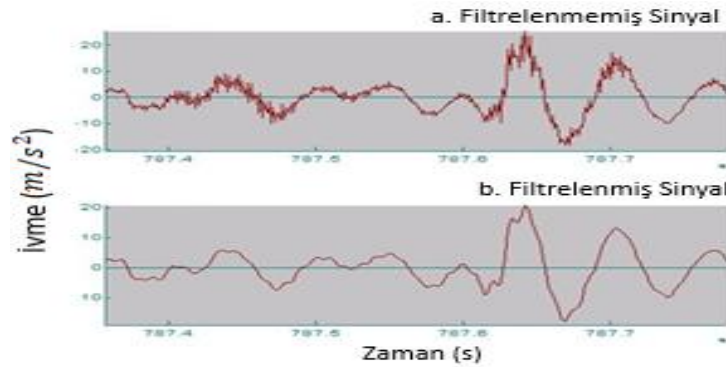
**Şekil 3.** Veri işleme algoritması

- Spike Analizi: Şekil 4’de, veri toplama sırasında çevresel ve fiziksel faktörlerden dolayı (örneğin voltaj düşüşü, manyetik alan etkisi vb.) bazı “spikeler” meydana geldi. Bu spikeler verileri görsel ve istatistiksel yöntemlerle ortadan kaldırıldı [15,16].



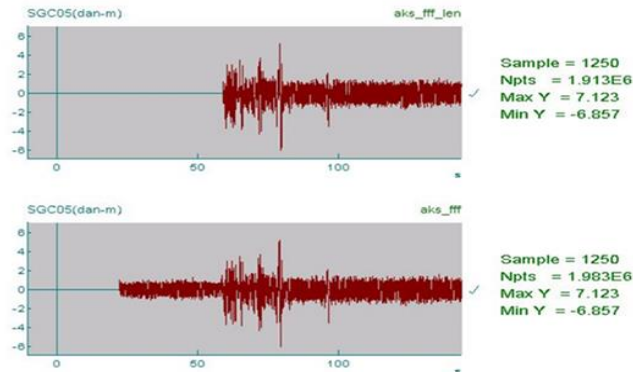
Şekil 4. Araç şaftında strain-gauge verisinde oluşan spike sinyali

- Filtreleme analizi : Şekil 5 de, 100 Hz'nin üzerindeki frekanslara sahip düşük genlikli sinyaller yorulma analizleri için önemli olmadığından, düşük geçişli bir filtreleme kullanılarak 100 Hz üzerindeki sinyaller orijinal verilerden çıkarılmıştır[15,16]. Taşıt süspansiyon parçaları için, yorulma analizleri için önemli frekans aralığı 40 Hz ve 60 Hz arasındadır. Yol simülasyonu için, genellikle 100 Hz' nin üzerindeki sinyaller ihmal edilmiştir[15,16].



Şekil 5. Filtrelenmiş ve filtrelenmemiş verilerin gösterimi

- Aritmetik İşlemler: Sinyallerin toplanması, çıkartılması, çarpılması ve bölünmesi, offset edilmesi gibi vb. fonksiyonları içeren bir işlemdir. Şekil 6’da görüldüğü gibi, teste harekete başlamadan önce sensor kalibrasyonları sırasında ki veri yorulma ömrü hesaplamada kullanışlı olmadığından çıkartma işlemi yapılmıştır[15,16].

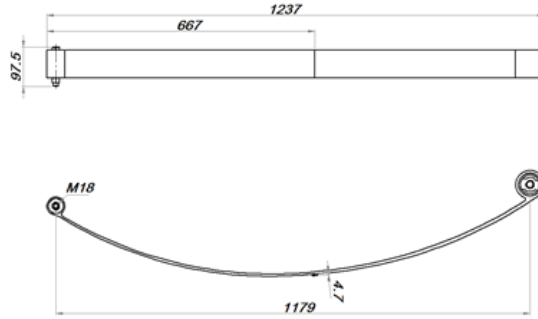


Şekil 6. Aritmetik işlemlerden çıkartma işleminin yapılması

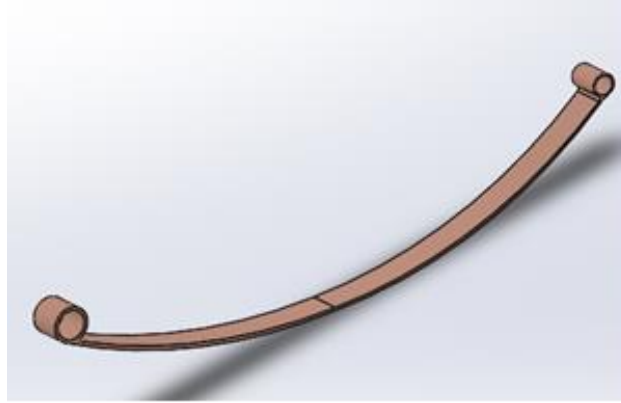
### 3. SONLU ELEMENLAR ANALİZİ İLE DENEYSEL VERİLERİN BENZEŞİMİNİN KURULMASI (ESTIMATION OF EXPERIMENTAL DATA WITH FEA)

#### 3.1 Arka Süspansiyon Yaprak Yayın Modellenmesi (Rear Suspension Leaf Spring Modeling )

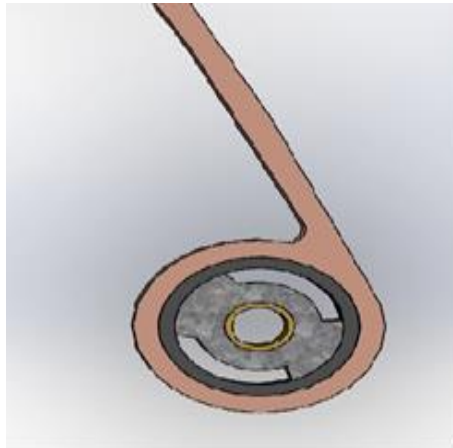
Şekil 7, 8 ve 9'da sırasıyla hafif ticari aracın arka yaprak yayının 2D teknik resim ve CAD modeli Solidworks bilgisayar programı ile oluşturulmuştur[17,18].



Şekil 7. Yaprak yay ve burçlarının teknik resmi 2D



Şekil 8. Yaprak yay burçları çıkarılmış Solidworks CAD çizimi



Şekil 9. Arka yaprak yay burç resimleri

ANSYS programında yay analizi: modelleme, çözüm ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi olarak üç ayrı modülde gerçekleştirilmektedir. Analizde modele sınır şartlarının tatbik edilmesine kadar olan işlemler programın ön işlemci modülünde (preprocessor), modelin çözülmesi, çözümleyici modülünde (solution) ve ek hesaplamalar ile sonuçların sayısal veya görsel değerlendirilmesi ise son işlemci (general postprocessor) modülünde gerçekleştirilmektedir[19].

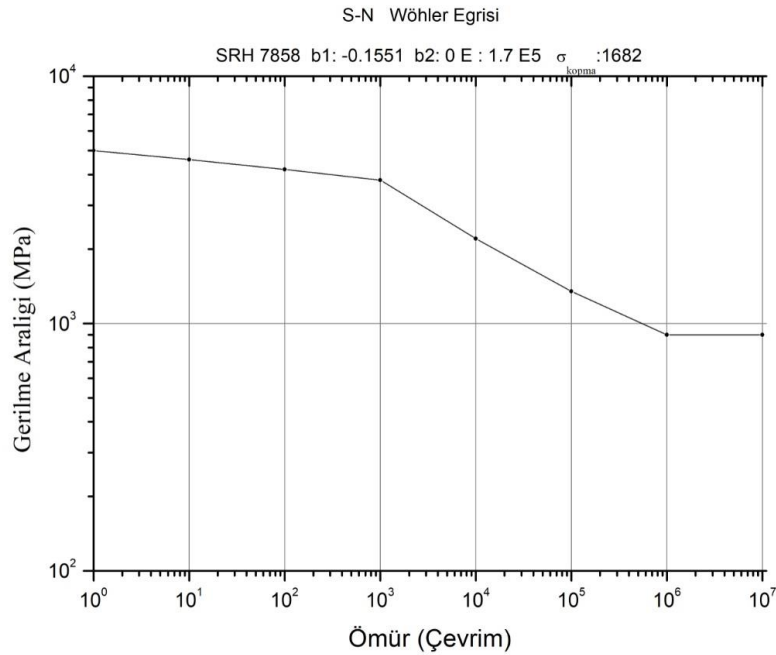
### 3.2 Yaprak Yay Malzeme Özellikleri ve S-N Eğrisinin ANSYS Programına Yüklenmesi (Leaf Spring Material Properties and S-N Curve Loading into ANSYS Program)

Tablo 2 de yaprak yay malzemesinin mukavemet özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Yaprak yay malzeme özelliği

<i>Parametre</i>	<i>Değeri</i>
<i>Elastisite modülü ( E )</i>	<i>206 000 N/mm2</i>
<i>Poission oranı ( ν )</i>	<i>0.27</i>
<i>Akma gerilmesi ( σ<sub>akma</sub> )</i>	<i>1509 N/mm2</i>
<i>Kopma gerilmesi ( σ<sub>kopma</sub> )</i>	<i>1682 N/mm2</i>
<i>b<sub>1</sub> :</i>	<i>-0.1551</i>
<i>b<sub>2</sub> :</i>	<i>0</i>

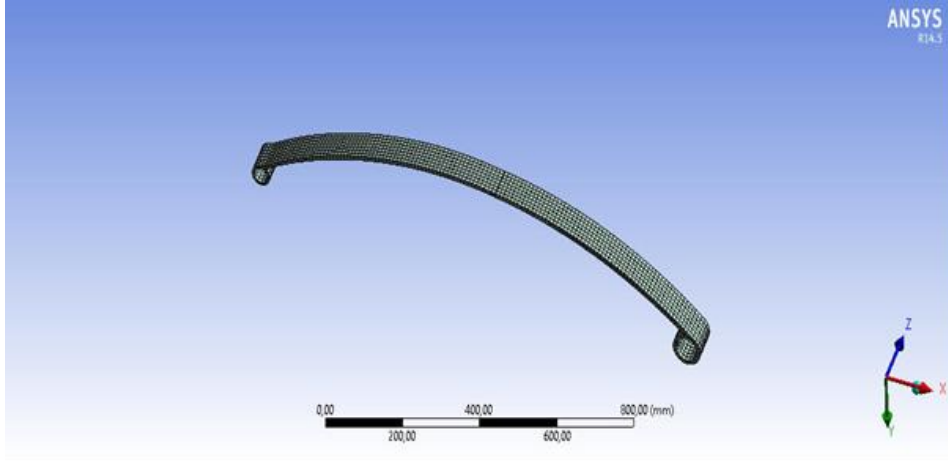
Şekil 10 da yaprak yayda kullanılan malzemenin S-N eğrisi görülmektedir. Bu eğrinin yatay ekseninde 1 den 10 çevrime kadar olan ömür eksenini yer alırken, bu şeklin dikey ekseninde gerilme aralıkları 0 dan 10 'e kadar Mpa cinsinden verilmiştir. Bu şekilde b1 olarak adlandırılan basquin eğrisinin eğimi b1=-0.1551 b2=0



**Şekil 10.** S-N Wöhler eğrisi

Şekil 11 de gösterildiği gibi arka süspansiyon yayı Ansys programında sonlu elemanlar analizi için Solid73 hegzagon eleman ve kritik yerlerde ise tetragon eleman tipi seçilerek mesh yapılmıştır[20,21]. Yaprak yayda 1456 hegzagon ve burçların olduğu yerde hassasiyeti artırmak için tetragon eleman kullanılarak toplam 9952 düğüm noktası ile ağ oluşturma(meshing) yapılmıştır[16,20,21].

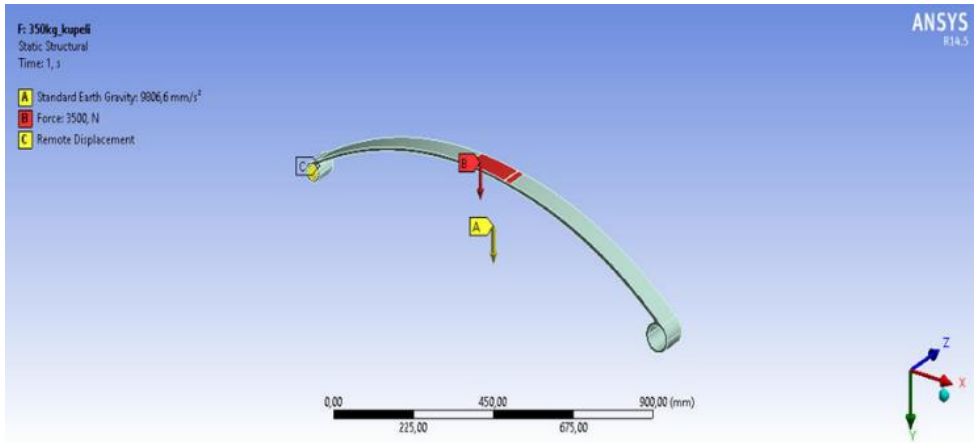




*Şekil 11. Yaprak yayın meshlenmiş resmi*

### 3.4 Yaprak Yay Sınır Koşulları( Boundry Condition of Leaf Spring )

Şekil 12 de görüldüğü gibi yaprak yay araç üzerinde sağda büyük burç sabit şaseye bağlı dolayısıyla x ve y de hareketsiz z de dönmeye serbest iken küçük burç ise bir küpe vasıtasıyla hem x doğrultusunda uzamaya hem de z yönünde dönmeye maruz bırakılmaktadır[16].



*Şekil 12. Yaprak yay sınır koşulları*

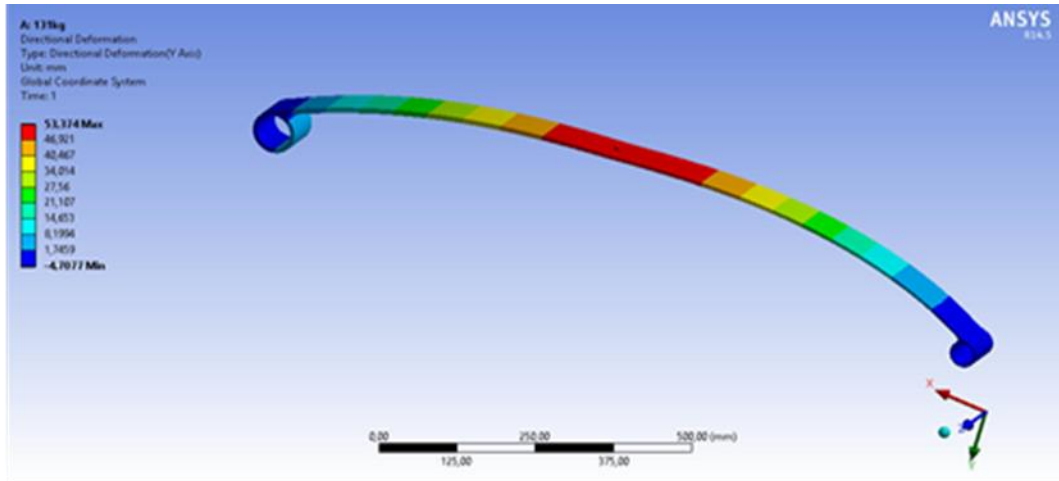
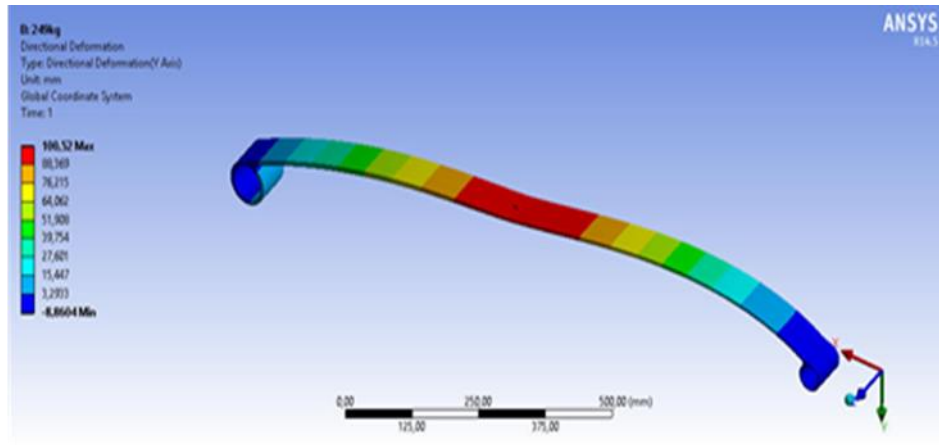
### 3.5 Yaprak Yay Statik Analizinin Giriş Kabul Testleri ile Bilgisayar Analizlerinin Mukayesesi(Comparison of Leaf Spring Static Analysis with Intake Acceptance Tests and Computer Analysis

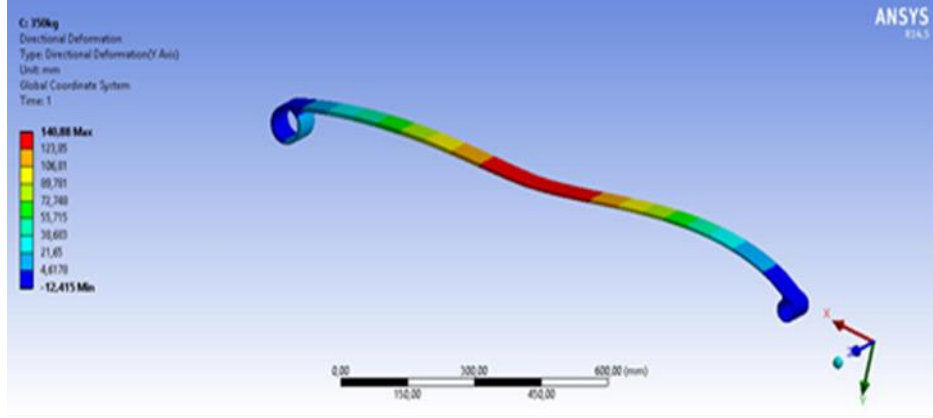
İlgili firma giriş kalite kontrol testlerinden alınan gerçek ölçüm değerleriyle yaprak yayın bilgisayarda simülasyonları sonucundaki yakınsamalar statik analiz sonuçlarıyla yakınsama karşılaştırmaları Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’den görüldüğü gibi ilgili otomobil firmasının yaprak yay giriş kalite kontrolünde kabul kriteri olarak yapılan gerçek çökme testine ait uygulanan yükler 131, 249 ve 350 kg karşılık gelen laboratuvar çökme testleri 51 mm, 102 mm ve 144 mm olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3** Yaprak yay laboratuvar ve bilgisayar test sonuçları

<i>Firma Yaprak Yay Çökme Testi ve Sanal Analiz Sonuçları</i>			
<i>Uygulanan kuvvet</i>	<i>Kalite Giriş gerçek test sonucu</i>	<i>Bilgisayar Simülasyonu</i>	
	<i>Küpesiz</i>	<i>Büyük burç sabit küçük burç yatayda hareketli</i>	
131 kg	51 mm	<i>Küpesiz</i>	<i>Küpelı</i>
249 kg	102 mm	53 mm	19.6 mm
350 kg	144 mm	100.5 mm	37.0 mm
		140 mm	51.8 mm

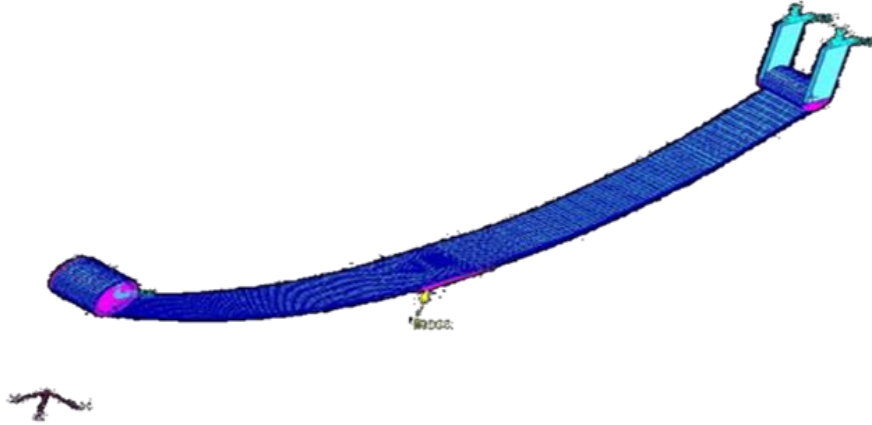
Bilgisayar simülasyonun da Şekil 13,14 ve 15 sırasıyla görüldüğü gibi yaprak yayın tam ortası; araç köprüsüne yatakladığı yerde, yayın tam ortasında 103x68 mm alana aynı kuvvetler uygulandığında küpesiz kısımla sırasıyla 53 mm, 100.5 mm ve 140 mm gibi çökme ele edilmiş ve hata toleransı olarak % 3 miktarını geçememektedir[16,19].

**Şekil 13.** 131 kg yaprak yay statik analizi**Şekil 14.** 249 kg yaprak yay statik analizi



*Şekil 15. 350 kg yaprak yay statik analizi*

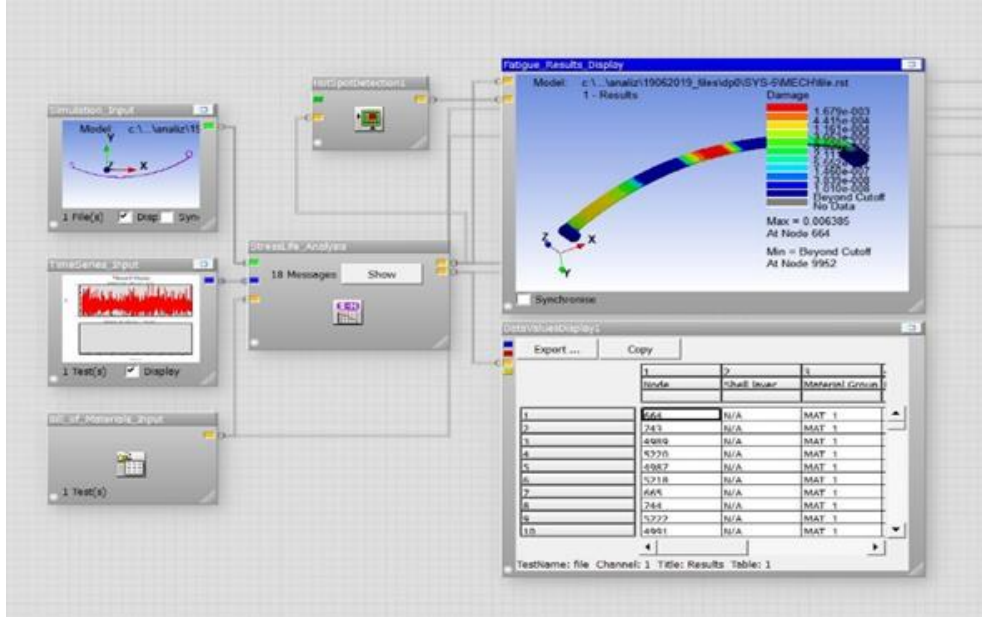
Tablo 1'in en sağındaki kolonda ise yine aynı kuvvetler bilgisayar ortamında yaprak yaya küpeli montajında uygulandığında elde edilen değerler görülmektedir. Tablo 1'den görüldüğü gibi küpeli ve küpesiz sonuçlar birbirine oranlandığında yaklaşık 2,7 oranında araca gelen kuvvetlerin indirgeniği saptanmıştır[16]. Şekil 16 da yaprak yay araç montaj modeli görülmektedir. Yaprak yay firma kalite giriş kabul kriterinden farklı olarak küçük burç tarafında bir küpe ile araca bağlanarak büyük burç yalnızca z de dönerken küçük burç hem x yönünde hareket ve z yönünde dönme serbestlik derecesine sahiptir.



*Şekil 16. Yaprak yay küpeli montaj resmi araç modeli*

### 3.7 Arka Yaprak Yay Yorulma Analizi (Rear Leaf Spring Fatigue Analysis )

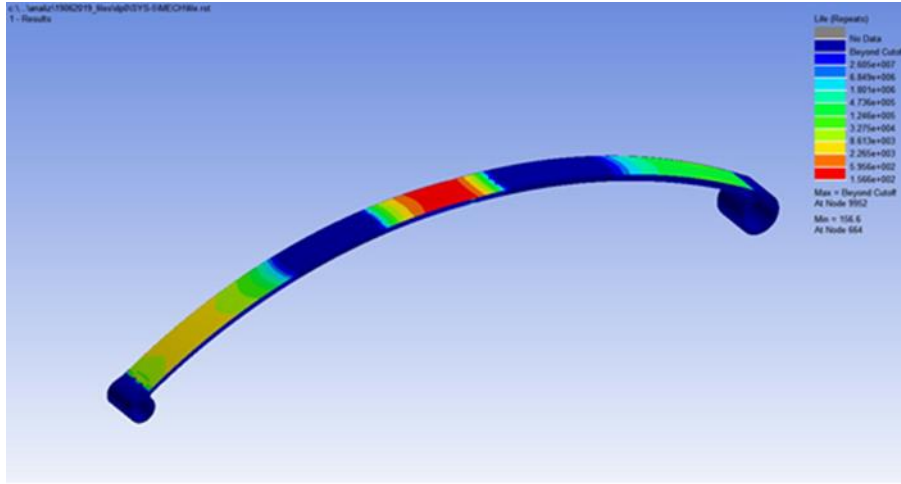
Yaprak yay yorulma analizinde Ansys de elde edilen static sonuçlardan sonar veriler, nCode yazılımının Design Life kısmına aktarılmıştır[15,19]. Şekil 17 de görüldüğü gibi Design Life'a Ansys programında işlem görmüş yayın CAD modeli, Dış yük verisi, yaprak yay malzemesinin özellikleri ve yorulma eğrilerinin tanıtımı yapıldıktan sonra S-N metodu temel alınarak en büyük asal gerilmeyi de hesaba katan Von-Misses yöntemine göre dış yük verisi 20 km den bir otomobilin yorulma ömrü olarak kabul edilen 200.000 km ye Excel de hesaplanarak oluşturulan bu yol yük verisi ile parçanın yorulma analizi Miner kuralı referans alınarak yapılmıştır[15,16,19,22,23].



Şekil 17. Yaprak yay yorulma analizi

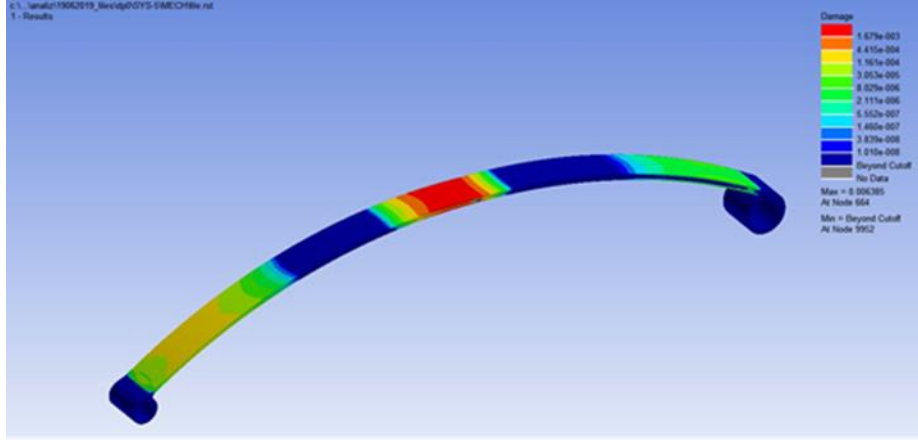
#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Şekil 18’de ANSYS programı ile yapılan yaprak yay yorulma analiz sonuçları ömür açısından verilmiştir. Burada kırmızı olarak yükün uygulandığı yerde ömür en kritik seviyesi 156,6 kat 200.000 km tekrar ettiğinde kırılma başladığını dolayısıyla oldukça sonsuz bir ömre sahip bir parça olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 18. Yaprak yay yorulma analizi ömür hesabı

Şekil 19’ da arka yaprak yayın 200.000 km hasar analiz sonuçları verilmiştir. Bu analizden yaprak yayda % 0,6 hasar miktarı olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 19.** Yaprak yay yorulma analizi hasar hesabı

Bu çalışmada HTA için güvenilirlik ve yorulma test parkurlarının her iki içinde farklı oranda kullanılan çukur, tümsek ve bozuk yol profilinden oluşan ağır yol parkuru fabrika civarında tespit edilip karakteristik verileri ölçülerek kullanılabilir hale getirilmiştir.

Farklı sinyallerin işlenmesinden, sınıflandırılmasından ve normalleştirilmesinden sonra, matematiksel bir test profili 200.000 km lik yorulma etkisi standartlaştırılmıştır.

SEA modellerinde hexagon tipi 3D elemanın daha iyi sonuç verdiği için kritik yerler hariç genelde hegzagon tipi elemanla meshleme yapılmıştır.

Yapının sanal analizinde kullanılan lineer analiz yöntemi bu tür yaprak yay için daha kesin sonuçlar vermiştir.

Döngü sayısının oldukça yüksek olması nedeniyle S/N yorulma yöntemi daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yorulma parkuru en ağır yük verisi uyguladıktan sonra arka yaprak yay da öngörülen 200.000 km'de yorulma hasarı olmadığı doğrulanmıştır.

Tablo 3'den görüldüğü üzere bilgisayar yöntemiyle sanal analizlerin gerçek test verilerine en fazla %3 hata ile yakınsadığı tespit edilmiştir. Buda zaman ve para açısından kullanılan gerçek yol testlerine göre bilgisayar destekli hesaplama metodolojilerini kullanmanın ürün geliştirme açısından çok avantajlı olduğu görülmüştür.

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma TOFAŞ A.Ş. tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TOFAŞ.A.Ş.'ne teşekkürlerimizi sunarız.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P.Heyes,X.Lin,A.Buczynski,M.Brown, Application of biaxial plasticity and damage modeling for the life prediction and testing of automotive components, Proc.of the 5th International Conference on Biaxial/multiracial Fatigue and Fracture, Cracow, Poland(1997)
- [2] R.Kuota, D.Play, Correlation procedures for fatigue life determination, Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME 121 ( 1999),PP.289-296
- [3] P.K.Paul,R.K.Dunga,A.Verma,A.V.Minakar,S.Raju: Techniques for accelerated design validation of tractor chasiss,SAE Paper 01(2001),pp.1-50
- [4] V.Grubicic, Determination of load spectra for design and testing, International Journal of Vehicle Design 15 ( 1994), pp.8-26

- [5] Case Study – Complete customer usage profiling example raw data through track correlation to accelerated rig drive in 4 days, Iveco, Italy, nCode , UK, (1999)
- [6] D.Filippo, M Macro, B.Thomas, R.Christophe, Structural characterization of vehicle on a rig test versus different road profiles analysis of experimental results, LMS International, Belgium Vol. 54 (2001), pp. 251-258
- [7] M.Fantacchiotti, M.Vianello, Gradual improvement of the vehicle reliability up to the target value, FIAT Auto SpA Design Engineering Department, 4th International Conference (1994)
- [8] C.Marchesani, F.Parmigiani, M.Vianello, Integrated method to define the mission profile of a passenger car, FIAT Auto SpA (1979), pp. 45-54 (in Italian)
- [9] M.Fantacchiotti, M. Vianello, Accelerated reliability test for vehicles and correlation with actual use, Proceeding of the 3rd International Conference ATA Innovation and Reliability in Automotive Design and Testing (1992), pp.1-9
- [10] Y.S.Kong, M.Z.Omar, L.B.Chu, S.Abdullahac Fatigue life prediction of parabolic leaf spring under various road conditions, Engineering Failure Analysis Volume 46, November 2014, Pages 92-103 <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.07.020>
- [11] P. Borkovic, B.Sustarsic, B.Susec, M.Malesevic, B.Zuzec,B.Podgornik,V.Loskovsec Fatigue Life Behaviour and a lifetime assessment of a double leaf spring using fem based software UDK 620.178.3:519.61/.64 ISSN 1580-2949 Original scientific article/Izvirni znanstveni ~lanek MTAEC9, 46(4)345(2012)
- [12] B. Ozmena, B.Altiok, A. Guzel, İ. Kocyigit, S. Atamera, A novel methodology with testing and simulation for the durability of leaf springs based on measured load collectives’’3rd International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading, VAL2015, Elsevier : Procedia Engineering 101 (2015) 363–371 : Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [13] M. M. Shokrieh, D. Rezaei , Analysis and optimization of a composite leaf spring, Elsevier [www.elsevier.com/locate.compostruc](http://www.elsevier.com/locate/compostruc). Composite Structures 60 (2003) 317–325
- [14] A.Ş.Şener: Finite element based vehicle component fatigue life assessment according to a customer usage profile, Materials Testing V 56 (2014) pp. 198-207
- [15] ANSYS nCode Design Life 14.5
- [16] A.Ş.Şener, Fatigue life determination of the leaf spring on the light commercial vehicle according to Turkish Mission Profile ( in Turkish ), Istanbul, Turkey (2003)
- [17] A.Ş.Şener,. (2018). Müşteri Korelasyonuna Göre Hafif Bir Ticari Otonun Yorulma Test Parkurunun Oluşturulması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6 (2), 345-357. DOI: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.356835
- [18] Solidworks (2018)
- [19] Ansys Workbench 14.5
- [20] N.W.M. Bishop, F. Sherratt, Finite element based fatigue calculation, NAFEMS- International Association for the Engineering Analysis Community LTD, [www.nafems.org](http://www.nafems.org).2000
- [21] The Ncode Book of Fatigue Theory, Ncode Technical Reference Book V 4.3, Document rel1.0, (2000)
- [22] Excell (2016)
- [23] M.A.Miner, Cumulative damage in fatigueMagnetics® Databook