

Titreşim Sönümlenme Elemanı Olan Kauçuk Burçta Çaplama İşleminin Ömre Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ve Deneysel Çalışma İle İncelenmesi

*¹İbrahim Cem ÖNCÜ(0000-0002-1811-8168), ²Aylin DOVA(0000-0001-8544-2913)

¹Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa
¹i.cemoncu@gmail.com

²Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa
²aylndova@gmail.com

Geliş Tarihi: 11.12.2017

Kabul Tarihi: 15.03.2018

Öz

Bu çalışmada süspansiyon sistemi titreşim sönümlenme elemanı olan kauçuk metal malzeme çiftinden üretilen bir burçta çaplama işleminin ömre etkisi incelenmiştir. Çaplama işlemi ve statik katılık değişimlerinin tespitinde sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analiz modelinin hazırlanmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde Msc.Patran 2014 yazılımı, analizin çözümleyicisi olarak ise Msc.Marc 2014 yazılımı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizde kullanılan malzeme modelinin ve uygulanan metodun doğruluğunu değerlendirmek için üretilen prototipler, analiz koşullarında öncelikle radyal yönde test edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son aşamada ise çaplamanın parça ömrü üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla üretilen prototipler ömür testine tabi tutulmuşlardır. Ömür testi sonucunda çaplamasız parçaya göre %1,4 çaplama yapıldığında ömür performansında %35'lik bir iyileşme, % 2,5 değerinde bir çaplama uygulandığında ise ömür performansında %48 lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kauçuk Burç, Ömür Analizi, Çaplama, Ömür, Sonlu Elemanlar Analizi

Investigation of Rubber Bushing of Calibration Process On Durability Effect

*¹İbrahim Cem ÖNCÜ, ²Aylin DOVA

¹Uludag University Institute of Science, Department of Mechanical Engineering, Bursa
¹i.cemoncu@gmail.com

²Uludag University Institute of Science, Department of Automotive Engineering, Bursa
²aylndova@gmail.com

Abstract

In this study, the durability effect of a bushing process produced from a pair of rubber metal materials with a railway suspension system vibration damping element is examined. Finite element analysis is performed to determine the change of the static stiffness and calibration process. The MSC.Patran 2014 software is used in the preparation of the nonlinear analysis model and evaluation of the results, MSC.MARC 2014 software is used as an solver. The prototypes which are evaluate the accuracy of the material model used in the nonlinear analysis and the applied method first tested in radial direction analysis conditions and the results are compared. At the last stage, prototypes which are produced for examination the effect of calibration on the part are used for durability test. As a result of this study, the effect of the applied calibration value on the durability is determined. As a result of durability test, first part which has %1,4 calibration ratio, durability performance was improvement by %35, second part which has %2,5 calibration ratio, durability performance was improvement by %48 according to uncalibrated part.

Keywords: Rubber Bushing, Durability Analysis, Calibration, Durability, Finite Element Analysis

1. GİRİŞ

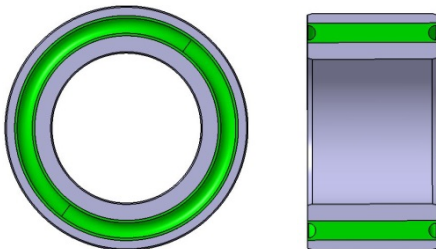
Kauçuk-metal burçlar her aracın süspansiyon sisteminde bulunan, titreşim sönümleme elamanı olarak kullanılan hiperelastik malzemelerdir. Yoldan ve aracın hareketli parçalarından gelen titreşim, şok ve darbe gibi etkileri sönümleyerek araç gövdesine iletilmesini engelleyen, sürtüş konfor gereksinimini sağlayan en önemli parçalardan biridir.

Bir araç üzerinde (otomobil) yaklaşık 50 adet kauçuk burç bulunmaktadır. Kauçuk burçlar otomobillerde olduğu gibi ticari araçlarda, ağır vasıta araçlarda, römorklarda, trenlerde, traktörlerde süspansiyon sistemine sahip bir çok araçta kullanılmaktadır. Süspansiyon elemanlarının birbirlerine ve ana gövdeye bağlantılarında kauçuk burçlar kullanılmaktadır. Burçlar, süspansiyon sistemlerinin dinamik davranışlarının belirlenmesi ve tasarlanması safhasında da anahtar rol üstlenmektedir. Şekil 1’de çeşitli metal kauçuk burç parçaları gösterilmektedir.



Şekil 1. Çeşitli kauçuk - metal burçlar

Şekil 1’de gösterildiği gibi kauçuk – metal burçlar genel itibari ile bir metal iç burç, bir metal dış burç ve bu burçların arasını dolduran kauçuk malzemesinden oluşmaktadır. Kauçuk parçalar vulkanizasyon yöntemi dediğimiz bir yöntem ile, kauçuk preslerinde özel kalıplar içinde üretilmektedir. Şekil’2 de iç burç, dış burç ve onun arasını dolduran kauçuktan oluşan bir kauçuk burç gösterilmektedir.



Şekil 2. İç burç, dış burç ve bu burçların arasını dolduran kauçuk malzemesinden oluşan parça

Kauçuk malzemelerle ilgili yapılan literatür araştırmasında sıcaklığın, kauçuk içerisine ilave edilen maddelerin ve çaplama işlemlerinin yapılan parça testlerine etkilerinin incelendiği görülmüştür.

Vahapoğlu, V. (2013). Kauçuk mekaniğinde yapılan deneyler konulu çalışmasında kauçuk malzemeler için yapılan tüm deneyleri sınıflandırarak detaylı bir biçimde

incelmiştir. Bu çalışmada testler yükleme ve numune şekillerine göre detaylı bir şekilde gruplandırılarak incelenmiştir. Yapılan testlerin geçmişten günümüze ulaşana kadar uğradığı değişikliklere de yer verilmiştir. Çalışmamızda bu testlerden en çok bilinen ve uygulananlarına yer verilmiştir. [1]

Erkek, S. (2007). Karbon siyahı / yağ ve karbon siyahı / dolgu maddesi oranının farklı vulkanizasyon sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR elastomerlerinin fiziko-mekaniksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana [2].

Özgün, R.E. (2010). Kauçuk - metal burçlarda kauçuk sertliği ve çaplama işlemlerinin kopma mukavemetine etkisini araştırmıştır. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa [3].

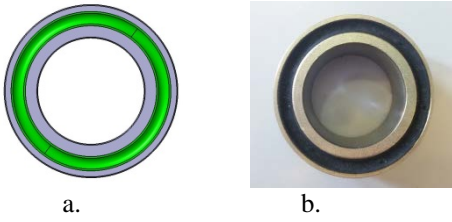
Soyel, D. (2008). Sonlu elemanlar metodu ile NR / SBR tipi elastomer esaslı malzemelerin davranış modellerinin belirlenmesi konulu çalışmasında malzemenin matematiksel modellenmesi üzerinde durmuştur. Çalışma kapsamında iki tip kauçuk malzeme için mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Abaqus 6.7.1 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak test verileri ile yazılım içerisinde yer alan malzeme modelleri için hiperelastik malzeme katsayıları hesaplanmıştır. Her bir hiperelastik malzeme modeli için eğriler elde edilmiştir. Bu eğriler test verisini temsil eden eğri ile kıyaslanarak en uygun hiperelastik malzeme modeli belirlenmeye çalışılmıştır [4].

Vahapoğlu (2010) Literatürde, kauçuk türü malzemelerin elastik davranışını modelleyebilmek için bir çok farklı formda şekil değiştirme enerji fonksiyonları önerilmiştir. Teorik olarak önerilen bu şekil değiştirme enerji fonksiyonlarının doğruluğu ise çekme, basma ve kayma deneyleri ile kontrol edilmektedir. Hazırlanan bu çalışmada kauçuk mekaniğinde yapılan deneyler tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Ayrıca, çalışmada literatürde kauçuk türü malzemeler için yapılan deneysel çalışmalar incelenmiştir [5]

Çekme basma ve kesme etkisi altında çalışabilen kauçuk burçların deforme olmaları da bu yükleme türlerine göre değişiklik göstermektedir. Çekme etkisi altında çalışan kauçuk burçlar incelendiğinde uygulanan çeki kuvveti zamanla kauçuk yapısındaki bağların kopmasına sebep olmaktadır. Vulkanizasyon işlemi sırasında metal parçalara iki kat boya sürülür. Bu sürülen boyalardaki kimyasal kauçuktaki kükürt halkaları ile etkileşime girerek kauçuğun metal parçalara yapışmasını sağlamaktadır. Çekme yüklemesi altında çalışan parçalarda bu yapışma zorlanmakta ve yapışma bölgelerinden kopmalar gözlemlenmektedir. Basma yükü altında çalışan parçalarda yapışma zorlanmamaktadır. Bu yüzden parça ömrü çeki yüklemesinde çalışan parçalara göre çok daha yüksek olmaktadır. Parça tasarımında pratik olarak kauçuk

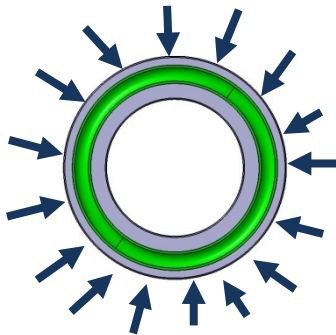
parçalar için kesme yüklemeleri altında en fazla %75-100 birim şekil değişikliği, bası ve çeki yükleri altında en fazla %30 birim şekil değişikliği öngörülebilir [6]. Kauçuk burç üretimi göz önüne alındığında, kalıptan çıkan vulkanize parça soğumaya bırakılır ve bu soğuma esnasında da iç ve dış burca yakın olan bölgelerdeki kauçuk daha geç soğur ve kenarlara doğru çekilir. Bu da kauçuk içerisinde iç gerilmelerin oluşmasına sebep olmaktadır. Yapılacak olan çalışmada kauçuk burç sürekli olarak bası yüklemesine maruz bırakılacaktır. Bunun için üretilen kauçuk burçlar montaj olacağı yuvadan belirli bir miktarda büyük üretilen, daha sonra çaplama işlemi dediğimiz dış burç plastik şekil değişikliğine uğratarak, dış çap değeri küçültülerek çalışacağı yuvaya montaj edilecektir.

Çalışmanın amacı, literatürde çalışması yapılan çaplamanın kopma mukavemetine etkisinin incelenmesi yerine, çaplamanın ömür dayanımındaki etkisi incelenmiştir. Ayrıca müşteri gereksinimlerindeki ömür beklentisini sağlayacak minimum çaplama değerlerinin bulunmasından oluşmaktadır. Şekil 3’de tasarlanan ve üretilen kauçuk burç gösterilmiştir.



Şekil 3 a. Tasarlanan kauçuk burç
b. Üretilen kauçuk burç

Kauçuk burçlarda çaplama işlemini dıştan merkeze doğru yarı çap boyunca dış metale plastik şekil vererek uygulanmaktadır. Bu çaplama işlemi simetrik olarak kapanan çeneler ile yapılabileceği gibi, konik bir kalıp içerisinden de geçirilerek yapılabilmektedir. Şekil 4’te çaplama işlemini temsil eden görsel bulunmaktadır.

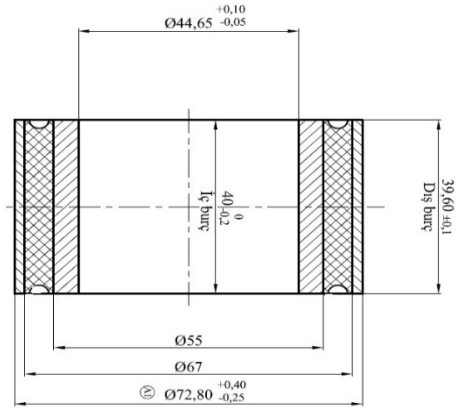


Şekil 4. Çaplama işlemi görseli

2. MALZEME VE YÖNTEM

Kauçuk çaplama işleminin burç ömrüne etkisinin araştırıldığı bu çalışmada kullanılan kauçuk-metal burç boyutları, Şekil 5’de görülmektedir. Görüldüğü gibi burç;

dış burç, iç burç ve aralarındaki kauçuk malzemeden meydana gelmektedir.



Şekil 5. Çaplama işleminin gerçekleştirileceği parçanın kesit görünümü ve burç boyutları

Kauçuk burcu oluşturan parçaların üretiminde kullanılan malzeme bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Kauçuk parça N506-B malzemesinden, iç ve dış burç ise St 37-2 çelik malzemeden üretilmiştir.

Tablo 1 . Kauçuk Burçta Kullanılan Malzemeler

Parça Adı	Malzeme	Açıklama
Kauçuk	N506-B	NR 70±5 ShA
İç Burç	DIN 2393 St 37-2 NBK	**
Dış Burç	DIN 2393 St 37-2 NBK	**

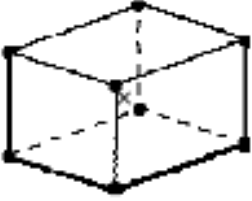
Burç yapımında kullanılan metalik malzemeler boru şeklinde olup dışta ve içte olmak üzere iki adettir. St37’den üretilen dikişli dış boru her hangi bir ısıl işleme tabi tutulmamıştır. Dış çapı 72,8 mm, et kalınlığı 2,9 mm olan dış boru malzemesinin ve dış çapı 55 mm, et kalınlığı 5,175 mm olan iç ve dış boru malzemesinin mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. İç ve dış borunun mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Uzama (%)
346	414	35

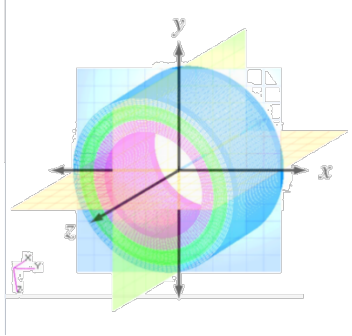
Tasarımı ve üretimi yapılan burcun Msc.Patran 2014 programında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Analiz sırasında deformasyonun fazla olmasının beklenildiği bölgelerde mesh yapısının sıklığı artırılarak hassas sonuçlar elde edilmesi amaçlanılmıştır. Mesh yapısı oluşturulduktan sonra, sınır şartlar ve yüklemeler parça üzerine tanımlanmıştır. Şekil 6’da parçanın mesh yapısı görülmektedir. Bu yapıda iç burç olarak tanımlan metal yapıda 31358 hex 8 eleman, dış burçta 17034 hex 8 eleman, 28782 hex 8 eleman kullanılmıştır. Hex 8 eleman, doğrusal altıyüzlü olarak tanımlanan C3D8RH tipi eleman

demektir. Şekil 6 da hex 8 elemana ait görsel görülmektedir.



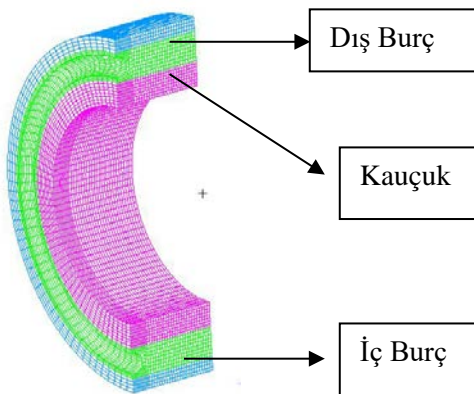
Şekil 6. Hex 8 eleman tipi

Farklı renkler ile gösterilen iç burç, dış burç ve kauçuğun, analiz programının ara yüzünde sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bu model oluşturulurken deformasyonun ve şekil değişiminin daha yüksek olacağı bölgelere daha sık mesh atılarak analiz kolaylaştırılmış ve oluşacak deformasyonun daha belirgin görülmesi amaçlanmıştır. Eleman boyutu seçimi için farklı boyutlarda elemanlar kullanılmış ve eleman boyutu 1.5 mm'den küçük değerlerde sonuçların fazla değişmediği görülerek bu boyut için elemanlar oluşturulmuştur. Şekil 7'de kauçuk burç mesh yapısı ve eksen takımı görülmektedir.



Şekil 7. Kauçuk burç mesh yapısı ve eksen takımı

Sonlu elemanlar analiz modeli oluşturulurken parçanın simetrik olmasından yararlanılarak radyal hareket ölçümü için çeyrek (1/4) parça modellenmiştir. Şekil 8'de parçanın 1/4 modeli görülmektedir.



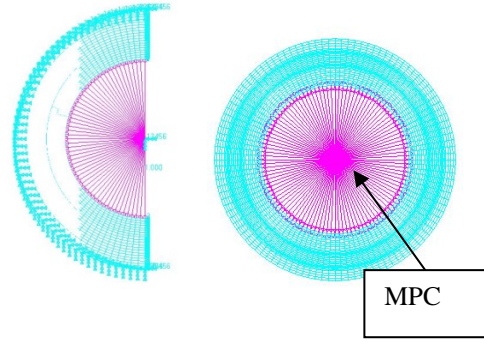
Şekil 8. 1/4 Kauçuk burç mesh yapısı

1/4 kauçuk burç modeli oluşturulurken parça yz ve yx düzlemlerince kesilerek çeyrek model elde edilmiştir. 1/4 modelin kullanımı model oluşturma ve çözümü süresini

kısaltmıştır. Bulunan sonuçlar çeyrek modele ait olacağı için, sonuçların kuvvet biriminin 4 katının alınması gerekmektedir. Çeyrek modelde kesilen yüzeylerden (yz ve yx), düğüm noktalarının hareketleri sınırlandırılmıştır. Ayrıca parçanın montaj yerini simüle edebilmek için dış burcun dış yüzeyinde bulunan düğüm noktaları x,y,z ekseninde hareketleri sınırlandırılmıştır.

Radyal hareketi sağlamak üzere ise iç burcun merkezinde yeni bir düğüm elemanı oluşturularak, iç burcun iç yüzeyinde bulunan tüm düğüm noktalarını merkezdeki düğüm elemanı bağlanarak MPC olarak tanımlanan birleştirilmiş düğüm yapısı oluşturulmuştur. Radyal hareket bu düğüm elemanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca dış burç, kauçuk ve iç burç arasında glue (yapışık) kontak tanımlaması yapılmıştır.

Bu tanımlama kauçuk burcun üretim yönteminden gelmektedir. Kauçuk burçlar üretilirken iç burca ve dış burca özel bir yapıştırıcı sürülür ve vulkanizasyon esnasında kauçuk bu yapıştırıcı sayesinde iç ve dış burca tutunur. Şekil 9'de kauçuk sınır şartlarının tanımlanmış hali ve MPC oluşturulmuş yapı görülmektedir.



Şekil 9. Kauçuk burç analizinde sınır şartların tanımlanmış hali

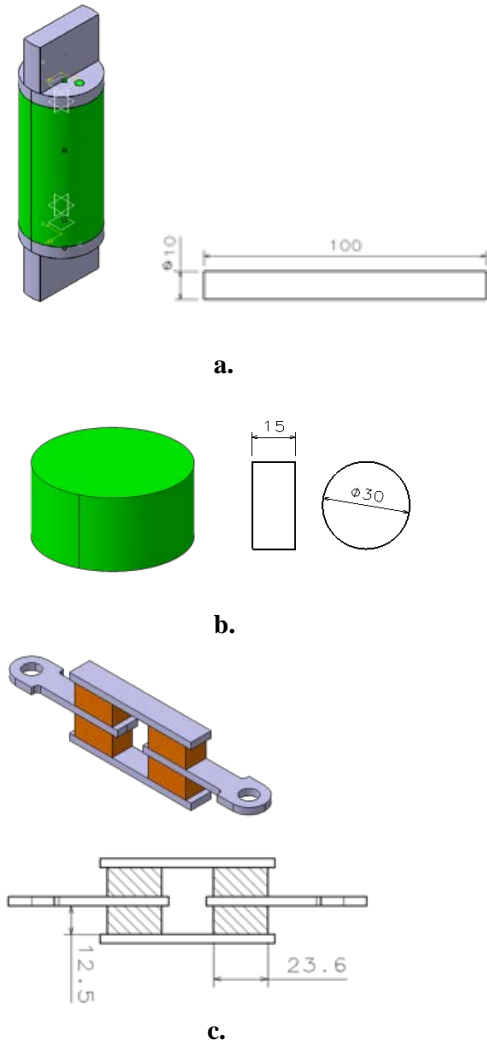
2.1 Malzeme Modeli Oluşturma

SEA (Sonlu Elemanlar Analizi) için malzeme verisinin tanımlanması gerekmektedir. Malzeme verisi özel oluşturulan numuneler test edilerek belirlenmiştir. Yapılan testlerde çekme, basma ve kesme malzeme verisi toplamak için numuneler oluşturulmuştur.

Bu testlerden elde edilen kuvvet – deplasman verileri, daha sonra numenin boyutları dikkate alınarak gerilim – gerinim verilerine dönüştürülmüş ve analiz programına yüklenilmiştir.

Analiz programında hiperelastik malzeme tanımı için Mooney Rivlin 2 malzeme modeli kullanılmıştır. Bilgisayar programı girmiş olduğumuz gerilim – gerinim değerlerini baz alarak malzeme modeli tanımında kullanılacak olan C10 ve C01 katsayılarını otomatik olarak hesaplamaktadır.

Şekil 10 da test numuneleri ve boyutları görülmektedir.



Şekil 10.

- a. Çekme Test Numunesi ve ölçüleri (mm)
 b. Basma Test Numunesi ve ölçüleri (mm)
 c. Kesme Test Numunesi ve ölçüleri (mm)

Malzeme modelinin bulunmasının diğer bir yolu da matematiksel formüller kullanılmasıdır. Bu denklemlerin oluşturulması hiperelastik malzemelerde şu şekilde olur;

Tek eksenli çekme testinde uzamadan sonraki uzunluğun, ilk uzunluğa oranı denklem (1)'de gösterildiği gibi "uzama oranı" (λ) olarak tanımlanır;

$$\lambda = L/L_0 = \epsilon + 1 \quad (1)$$

Hiperelastik bir malzemenin bünye denklemi için gerinme enerjisi potansiyeli kullanılır. Bu tanım için invariants ve uzama oranı değerleri tanımlanır. İnvaryantlar, koordinat sisteminden bağımsız gerinmeleri ölçmek için kullanılır. Gerinme enerjisi potansiyelinin tanımlanması için üç yönde uzama ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) oranı tanımlanır. Bu sembollerde λ_1 ve λ_2 düzlemdeki uzamaları temsil ederken, λ_3 ise düzlem dışı uzamayı temsil etmektedir. Üç yöndeki gerinme invariantsları denklem (2a), (2b) ve (2c)'deki gibi yazılır [7].

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad (2a)$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad (2b)$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \quad (2c)$$

İzotropik ve mükemmel sıkıştırılmaz bir malzeme için $I_3=1$ 'dir. Gerinme enerjisi potansiyeli (W), uzama oranları ve gerinme invariantslarının fonksiyonudur. Literatürde birçok hiperelastik malzeme modeli tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları; Mooney-Rivlin, Polynomial Form, Neo-Hookean, Ogden, Arruda-Boyce, Gent, Yeoh ve Marlow modelleridir [7].

Elastomer modellerinde kauçuk için genel olarak Mooney-Rivlin hiperelastik malzeme modeli kullanılmasına rağmen doğrusal elastik malzeme modelleri de yakın sonuçlar vermektedir. Mooney-Rivlin malzeme modeli denklem (3)'de belirtilmiştir [7].

$$W(I_1, I_2) = \sum_{ij=0}^{n \rightarrow \infty} C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad (3)$$

Bu denklemde C_{ij} katsayıları belirtmektedir. Mooney-Rivlin modeli %100 gerinmelere kadar çekme testleri için uygun olsa da, bası şeklindeki deformasyonlarda gerinmede olduğu kadar başarılı sonuçlar vermemektedir.

3. BULGULAR

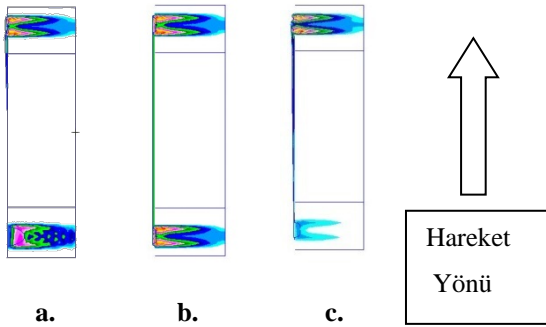
3.1 Radyal Statik Analizler

Oluşturulan mesh modeline çaplamalı ve çaplamasız parçaların katılık (stiffness) değerlerinin belirlenebilmesi için, tanımlanan hareket yönünde (radyal yönde) 1 mm yer değiştirme uygulanarak parça üzerinde oluşan kuvvet değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda parçada meydana gelen strain değerleri kontrol edilerek bu değerlerin uygunluğu teyit edilmiştir. Şekil 11'de çaplamalı ve çaplamasız parçalar için yapılan radyal analiz görselleri verilmiştir. Çaplamalı parçalarda, çaplamasız parçaya göre sıkışmanın daha fazla olduğu Şekil 11' de verilen radyal analiz görsellerinde belirgin olarak farkedilmektedir. Yapılan analizlerde çaplamasız parça (72,8 mm dış burç çapına sahip olan parça), 1 mm çaplamalı parça ve 1,75 mm çaplamalı parça kullanılmıştır.

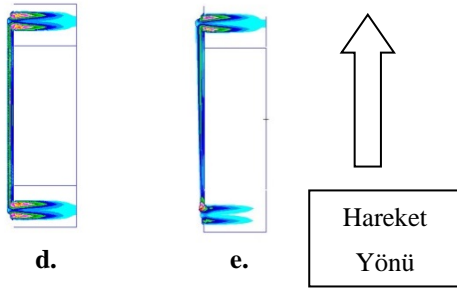
Radyal analiz sonucunda elde edilen kuvvet ve deplasman verileri kullanılarak Şekil 12' de gösterilen SEA radyal katılık grafiği oluşturulmuştur. Şekil 12' da yer alan grafikten de görüleceği üzere çaplama değeri arttıkça parça üzerinden 1 mm deplasmanda toplanan kuvvet değerinin artış gösterdiği görülmektedir. Çaplamanın radyal katılık değerlerini arttırıcı bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan SEA analizleri sonucunda çaplamanın radyal katılık değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir ve elde edilen veriler Tablo 3'de görülmektedir. Çaplamasız parçayla karşılaştırıldığında çaplama oranının %1,4 arttırılması parçada yaklaşık 1,5 kat, çaplama oranını %2,5

arttırılmasında ise yaklaşık 2 kat katılık değerlerinde artışa sebep olmaktadır.

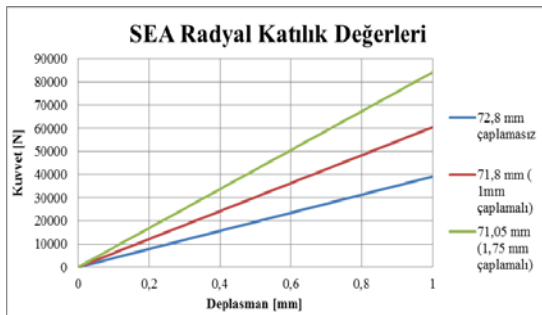


- a. 72,8 mm (Çaplanmamış parça)
b. 1 mm çaplama
c. 1 mm çaplamalı parçanın radyal analizi



- d. 1,75 mm çaplama
e. 1,75 mm çaplamalı parçanın radyal analizi

Şekil 11. Radyal sonlu elemanlar analizleri



Şekil 12. SEA radyal katılık değerleri grafiği

Tablo 3. SEA Radyal Katılık Değerleri

	SEA Radyal Katılık Değeri [N/mm]	Çaplama Oranı [%]
72,8 mm çaplamasız	39104	0
71,8 mm (1mm çaplamalı)	60440	1,40
71,05 mm (1,75 mm çaplamalı)	84200	2,50

3.2 Radyal Katılık Testleri

Radyal katılık testleri Zwick test makinasında Tablo 4' de belirtilen, test hızı, yorulma hızı, yorulma sayısı ve test yükleme noktası gibi test verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu değerler incelemesini gerçekleştirdiğimiz parçamız için müşteri gereksinimleridir.

Burada test hızı statik olarak kabul edilebilecek bir değer belirlenmiştir. Kauçuk gibi elastomer parçalarda test yapılırken mullin etkisinden parçayı arındırmak için 2 kere ön yükleme yapılmış ve 3. yüklemde test verileri kaydedilmiştir. Test yükleme değeri olarak parçanın çalışma ortamında maruz kaldığı yük seçilmiştir.

Tablo 3. Test Parametreleri

Test hızı	5 mm/min
Yorulma hızı	5 mm/min
Yorulma sayısı	2
Test yükleme noktası	20 kN

Şekil 13'te gerçekleştirilen radyal testler ile ilgili Zwick test düzeneği görülmektedir. Zwick test makinasında montaj yerini simüle eden aparatlar tasarlanmış ve Tablo 4' te verilen test parametreleri kullanılarak kauçuk parçaya ait radyal test gerçekleştirilmiştir.



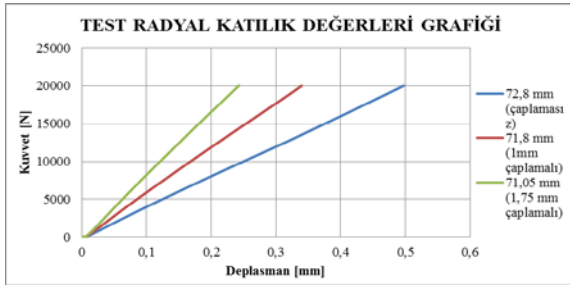
Şekil 11. Radyal katılık testleri

Yapılan radyal statik testler sonucunda Tablo 5'te gösterilen değerler bulunmuştur. Radyal statik test sonucunda elde edilen bu değerler, SEA radyal analizleri ile karşılaştırıldığında ortalama %4 lük bir sapma tespit edilmiştir. Bu elde edilen değer elastomer grubu gibi doğrusal olmayan özellik gösteren parçaların analiz-test karşılaştırması için oldukça iyi bir sonuçtur.

Tablo 5. SEA ve Radyal Katılık Testi Değerlerinin Karşılaştırılması

	SEA Radyal Katılık Değerleri [N/mm]	Test Radyal Katılık Değerleri [N/mm]	Sapma Oranı [%]
72,8 mm çaplamasız	39104	37782	3,3
71,8 mm (1mm çaplamalı)	60440	57858	4,2
71,05 mm (1,75mm çaplamalı)	84200	80452	4,4

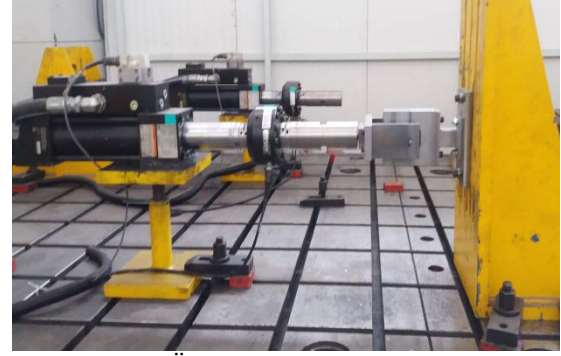
Şekil 14'te radyal test sonucunda elde edilen verilere göre hazırlanmış kuvvet – deplasman grafiği görülmektedir. Parçaların testleri Tablo 4' de tanımlanan test parametrelerine göre gerçekleştirilmiştir. 20kN yük altında parçaların deplasman değerleri tespit edilmiştir.

**Şekil 14.** Test radyal katılık değerleri

3.3 Ömür Testleri

Çaplama işleminin kauçuk burç parça ömrüne etkisinin incelendiği bu çalışmada ömür testleri Şekil 15'te gösterilen MTS test sistemi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmada 50 kN kapasiteye sahip aktüatörler kullanılmıştır.

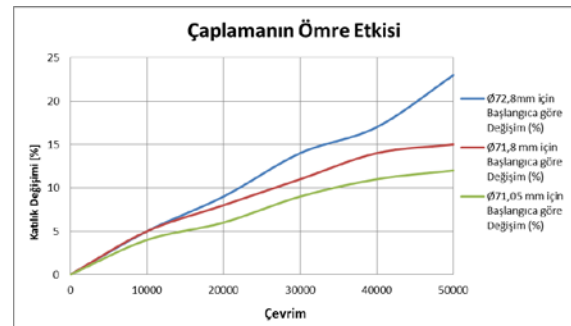
Tablo 6'da ömür testi için kullanılacak test parametreleri görülmektedir. Bu parametreler parça üzerine araç dinamiğinden gelen yüklemeler kullanılarak bulunmuştur. Kauçuk burç parçası ± 20 kN'luk dinamik bir yüklemeye altın da çalışmaktadır. 50.000 çevrim ise parçanın bu yüklemeye altın da deforme olmadan çalışması gereken süreci belirtmektedir. Her 10.000 çevrimde dinamik test durdurulmuş, radyal statik teste tabi tutulmuş ve parçanın test sonucunda elde edilen katılık değerleri kaydedilmiştir.

**Şekil 15.** Ömür testleri MTS test sisteminde gerçekleştirilmiştir.**Tablo 6.** Ömür Testi Parametreleri

Yük (Radyal)	50000 LW ile 20 kN arasında x-yönünde (Gerilme)
İşletme sıcaklığı	Sürekli kullanım: (-25°C)+(70°C) Nadir sıcaklık: (-40°C)+(80°C)

Tablo 7'de her 10.000 çevrim sonucunda elde edilen katılık değerlerini ve bunların başlangıç durumuna göre değişim değerleri verilmiştir. Çaplamasız parçada 50.000 çevrim sonucunda %23 lük bir katılık değişimi gözlemlenirken, 1 mm çaplamalı parçada %15, 1,75 mm çaplamalı parçada ise %12 katılık değişimi görülmektedir.

Şekil 16'da çaplamasız, 1 mm çaplamalı ve 1,75 mm çaplamalı parçaya ait 50.000 çevrim boyunca oluşan katılık değişimleri görülmektedir. Grafikten de görüleceği üzere çaplamasız parça başlangıç durumuna göre % 20'nin üzerinde katılık değişimi göstermektedir. Bu değişim oranı çaplamalı parçalara baktığımızda 1 mm çaplamalı parçada %15, 1,75 mm çaplamalı parçada ise %12 dolaylarındadır.

**Şekil 16.** Parça ömründeki katılık değişiminin grafiksel gösterimi

Tablo 7. Çevrim Sayısına Karşılık Gelen Katılık Değerleri Değişimi

Çevrim Sayısı	Ø72,8mm Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Ø72,8mm İçin Başlangıca Göre Değişim (N/mm)	Ø71,8mm İçin Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Ø71,8mm İçin Başlangıca Değişim (%)	Ø71,05 İçin Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Ø71,05mm İçin Başlangıca Göre Değişim (%)
0	37782	-	57858	-	80452	-
10000	39671,1	5	60750,9	5	83670,08	4
20000	41182,38	9	62486,64	8	85279,12	6
30000	43071,48	14	64222,38	11	87692,68	9
40000	44204,94	17	65958,12	14	89301,72	11
50000	46471,86	23	66536,7	15	90106,24	12

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan çalışmada SEA statik katılık analizleri ile statik katılık testleri karşılaştırılmıştır. Ortalama %4'lük bir sapma ile SEA analizlerinin doğruluğu sağlanmıştır. Kauçuk gibi elastomerlerin analizlerinde %4'lük bir yakınsana iyi olarak kabul edilmektedir.

Kauçuk malzemesinin içeriğinin metalden farklı olması ve birçok değişkenden etkilenmesinden dolayı doğrusal olmayan analizlerde test sonuçları ile analiz sonuçları arasındaki kolerasyonda belirli oranda sapma görülmektedir. 50.000 çevrim sonucunda maksimum %20 katılık değişimi isteği çaplamasız parçada sağlanamazken, çaplama işlemi uygulandıktan sonra sağlanmaya başlanmıştır. Çaplama değeri arttırıldıkça katılık değişimin azaldığı görülmüştür. %2,5 luk çaplama değerindeki katılık değişimi %12 iken, bu değer %1,4 lük çaplama değerinde %15 değerine ulaşmıştır. Parçanın çaplama değerinin arttırılması ile katılık değişimin düştüğü görülmüştür fakat çaplama değeri daha arttırıldığında kauçuk burç için %30'luk gerinim değişimini geçen bir ön gerilme uygulanmış olacaktır. Bu da parçanın 50000 çevrimden önce %20 lik katılık değişimini aşacağını ön görmektedir.

KAYNAKLAR

[1].Vahapoğlu, V. (2013). Kauçuk Mekaniğinde Yapılan Deneyler. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(1): 33-60.

[2].Erkek, S. 2007. Karbon Siyahı/Yağ ve Karbon Siyahı/Dolgu Maddesi Oranının Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR Elastomerlerinin Fiziko-Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana.

[3].Özgün, R.E. 2010. Kauçuk- Metal Burçlarda Kauçuk Sertliği ve Çaplama işlemlerinin Kopma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

[4].Soyel, D. 2008. Sonlu Elemanlar Metodu ile NR/SBR Tipi Elastomer Esaslı Malzemelerin Davranış Modellerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.

[5].Vahapoğlu, V. 2010; Kauçuk Türü Malzemeler: Şekil Değiştirme Hızı Etkileri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 3, 2010, Sayfa 265

[6].Kenstitu, URL: <http://www.k-enstitu.com/2017/02/13/tek-katmanli-kaucuk-metal-burclarda-on-sikistirmanin-statik-katilik-ve-parca-omruneetkilerinin-arastirilmesi/>(Erişim zamanı; Aralık, 5, 2017)

[7].Karen, İ, Kaya, N., Öztürk, F.ve Korkmaz, İ., (2008), "Motor Titreşim Takozlarının İstenen Özelliklerde Tasarımı ve Doğrulaması", 4. Otomotiv Teknolojileri Kongresi – Otekon' 08, 1-4 Haziran 2008, Bursa.