

Tek katmanlı kauçuk metal burçlarda ön-sıkıştırmanın statik katılık ve parça ömrüne etkilerinin araştırılması

A.K.Serbest^a, S.Kayacı

Las-Par Kauçuk Yedek Parça A.Ş. Akçalar Sanayi Bölgesi Kale Sk. No:10
16225 Nilüfer/Bursa/Türkiye

Özet

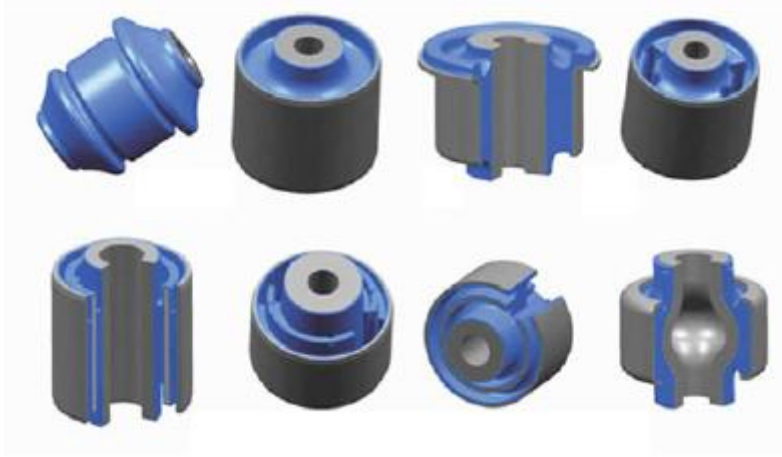
Çalışmada tek katmanlı kauçuk metal malzeme çiftinden imal edilmiş bir burca ön sıkıştırma işlemi uygulayarak radyal katılık değerlerindeki değişim ve ön sıkıştırmanın parça ömrüne etkisi incelenmiştir. Ön sıkıştırma işleminin sanal tasarım uygulamasında sonlu elemanlar analizi (SEA) kullanılmıştır. Analiz modelinin hazırlanmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde **MSC.Partan 2008** arayüzü, analizin yapısında **MSC.Marc 2008 r1** çözücüsü kullanılmıştır. SEA de kullanılan malzeme verilerinin ve uygulanan metodun doğruluğunu değerlendirmek için üretilen prototipler, analiz koşullarında test edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son aşamada ön sıkıştırmanın parça ömrü üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla üretilen prototipler ömür testine tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak tek katmanlı kauçuk-metal malzeme çifti içeren bir burcun tasarımında kullanılmak üzere ön sıkıştırma oranının parça ömrü ve parça radyal katılık değerlerine yüzdesel etkisinin görüldüğü referans grafikler elde edilmiştir.

1. Giriş

Günümüz teknolojisinde kauçuk malzemenin titreşim sönümleyicisi olarak kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Tasarımı yapılan ürünlerde kullanılarak malzemelerin belirlenmesinde, malzemelerin fiziksel ve kimyasal yapıları iyi incelenmelidir. Kauçuk, Thomas Hancock tarafından 1819 yılında kaplama fabrikalarında ve eldivenlerde kullanılmaya başlanmıştır. İşlenmemiş kauçuk, elastiklik özelliği zayıf, üzerine uygulanan kuvvetle şekil alan ve kuvvet kaldırıldığında ilk haline dönemeyen bir yapıya sahiptir. 1939 yılında Charles Goodyear, şans eseri kauçuğu sülfür ile pişirmesinin ardından günümüzde kullanılan kauçuk ortaya çıkmıştır. Sülfürle pişirilme işlemine vulkanizasyon denmektedir (Slack 2002). Esas itibarıyla kauçuk, bitkisel kaynaklı bir özdür. İçerisine katılan çeşitli kimyasal maddeler ile elastiklik özelliği kazanmaya hazır bir hammadde haline getirilirler. Endüstriyel preslerde parametre olarak belirlenen sıcaklık, basınç ve sürelerde ham kauçuk vulkanize edilerek, mekanik uygulamalarda titreşim sönümleyici olarak kullanılacak elastiklik özelliği yüksek bir mühendislik malzemesi haline gelir.

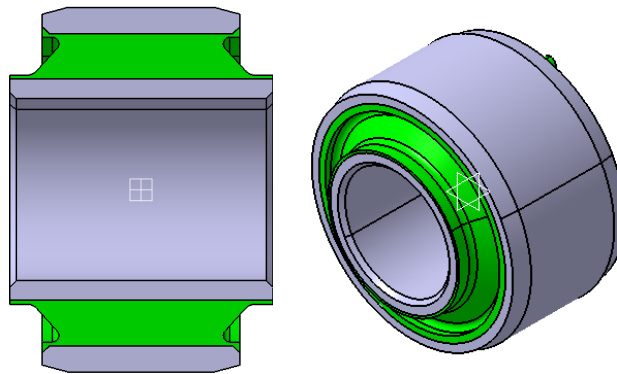
^a Sorumlu yazar - kamil.serbest@laspargroup.com

Kauçuk-metal burçlar, mekanik sistemlerde çoğunlukla bağlantı noktalarında, titreşim sönümleyici ve sistemdeki kararsız davranışları telafi etmeye yönelik bağlantı elemanları olarak kullanılırlar.



Şekil 1.1 Çeşitli Kauçuk-Metal Burçlar (Heißing, ve Ersoy, 2011)

Şekil 1.1’de gösterildiği gibi çok çeşitli tiplerde burç tasarımları sanayide kullanılabilir. Kullanım yerleri ve görevleri itibarıyla farklı alt bileşenler içerebilen ve çeşitli geometrilere sahip olabilen burçlar, temel itibarıyla iç burç, dış burç ve burçların arasını dolduran kauçuk malzemenin oluşan tek katmanlı burçlardır. (Şekil 1.2)



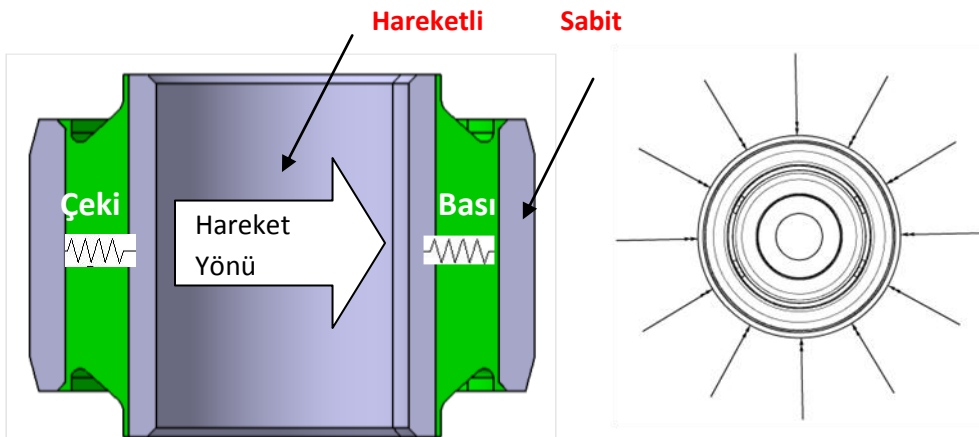
Şekil 1.2 Tek Katmanlı Kauçuk-Metal Burç

Parçalar, yapısındaki en zayıf bileşenin özellikleri dikkate alınarak tasarlanırlar. Tek katmanlı kauçuk-metal burçta kauçuk malzemenin hasar görmesi, parçanın hasar görmesi anlamına gelir. Bu

yüzden kauçuk malzeme içeren parçaların tasarımları sırasında dikkat edilmesi gereken hususların başında kauçuğun yapısına uygun bir tasarım yapmak gelir.

Yapısındaki kükürt bağları sayesinde elastiklik özelliği kazanan kauçuk, oda sıcaklığında orijinal boyunun en az iki misline uzatılabilen ve bu uzamayı temin eden kuvvet ortadan kaldırıldığında hemen hemen orijinal haline dönebilen polimerik malzemeler olarak tanımlanırlar. Kauçuk malzeme içeren parçaların hasar görme durumları incelenecek olursa çeki yüklemeleri altında çalışan parçalarda, uygulanan çeki kuvveti zamanla kauçuk yapısındaki bağların kopmasına sebep olmaktadır. Öte yandan kauçuk-metal malzemelerin bir arada kullanıldığı parçalarda, malzeme çiftinin yapıştırılmasında çeşitli yapıştırma teknikleri kullanılmaktadır. Parçalar üzerine gelecek çeki kuvvetleri bu yapıştırmaların hasar görmesine sebep olmakta sonuç olarak parça kullanılmaz hale gelmektedir. Bir diğer hasar türü de tekrarlı yüklemelerde görülen malzeme yorulmasıdır. Tekrarlı olarak bası-çeki yüklemelerine maruz kalan kauçuk parça sürekli olarak rahatlama noktasından geçtiği için zamanla ısınır ve kimyasal bağlar zayıflayarak kopmaya başlar. 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. (Gent, 2001) Açıklanan hasarlarla karşılaşmamak için çeki yönünde çalışma tercih edilmemelidir.

Bu çalışmada tek katmanlı kauçuk-metal bir burcun tasarımında, burcun çalışması sırasında maruz kalacağı yüklemeler göz önüne alınarak sürekli bası yükleri altında kalmasını sağlamak amacıyla uygulanan ön sıkıştırma işleminin, burcun radyal katılık değeri ve parça ömrü üzerine etkisi incelenmiştir. Ön sıkıştırma, kauçuk-metal malzeme içeren burçlarda kauçuk malzeme üzerine bir ön yüklemeye yapılarak, parça ömrü boyunca sürekli bası yükü altında kalmasını sağlamak ve böylece parça ömrünü artırmaya yönelik bir uygulamadır. Şekil 1.3 te ön sıkıştırma şematik olarak gösterilmiştir.



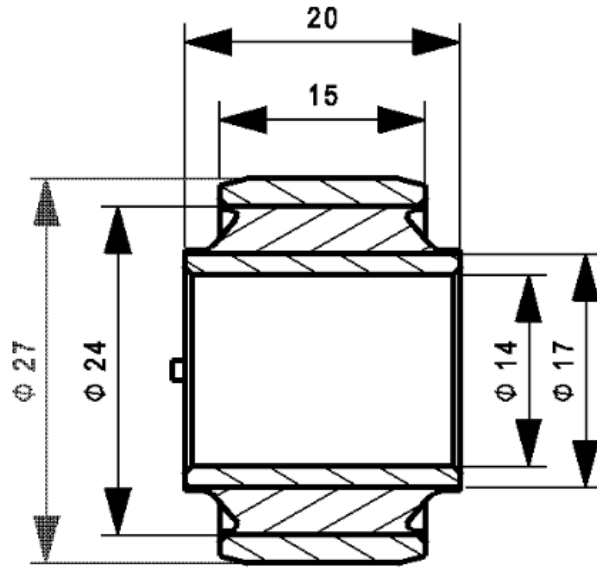
Şekil 1.3 Ön sıkıştırma Şematik Gösterimi

Burçlar ilk üretildikleri dış çaptan, daha küçük çaplara sıkıştırılır. Örneğin bir burç çalışması sırasında iç burç hareketi olarak 0,4mm bir harekete maruz kalacaksa, $\varnothing 27$ mm üretim dış çapına sahip bir burcu, $\varnothing 26$ mm ye sıkıştırarak ön sıkıştırmak, parça çalışması sırasında sürekli olarak bası yükü altında çalışmasını sağlamak için yeterli olacaktır. İkinci bir ön sıkıştırma metodu ise iç burcun iç çapını büyütürken yine burcun kompleksine bir ön sıkıştırma uygulamaktır. Burç geometrisine ya da üretim toleranslarına göre dıştan-içe ya da içten-dışa ön sıkıştırma metodu seçilir.

2. Araştırmanın Yapılanması ve Hesaplamalar

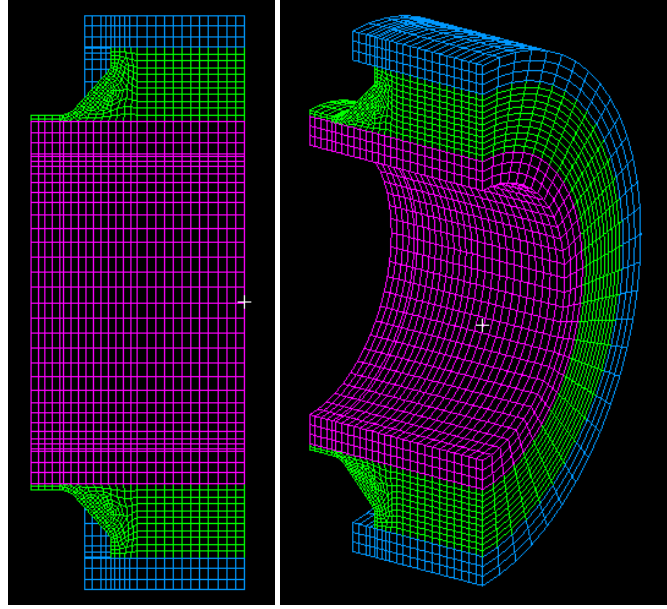
Araştırma üç aşamalı olarak planlanmıştır. Birinci aşamada, tek katmanlı kauçuk-metal bir burcun ön sıkıştırmaz ve ön sıkıştırmalı olacak şekilde sonlu elemanlar analizleri yapılarak, ön sıkıştırmanın burcun radyal katılık değeri üzerine etkisi hesaplamalı olarak bulunmuştur. İkinci aşamada bulunan değerleri ve kullanılan analiz metodunu doğrulamak için üretilen prototip numuneler test edilmiştir. Sonuçlar analiz sonuçlarıyla karşılaştırılarak analiz sonuçları doğrulanmıştır. Son aşamada ise ön yüklemenin kauçuk malzeme üzerine etkisini görmek için ön sıkıştırmalı ve ön sıkıştırmaz olarak üretilen numuneler ömür testine tabi tutulmuşlardır.

2.1. Sonlu Elemanlar Modelinin Kurulması ve Analiz Sonuçları



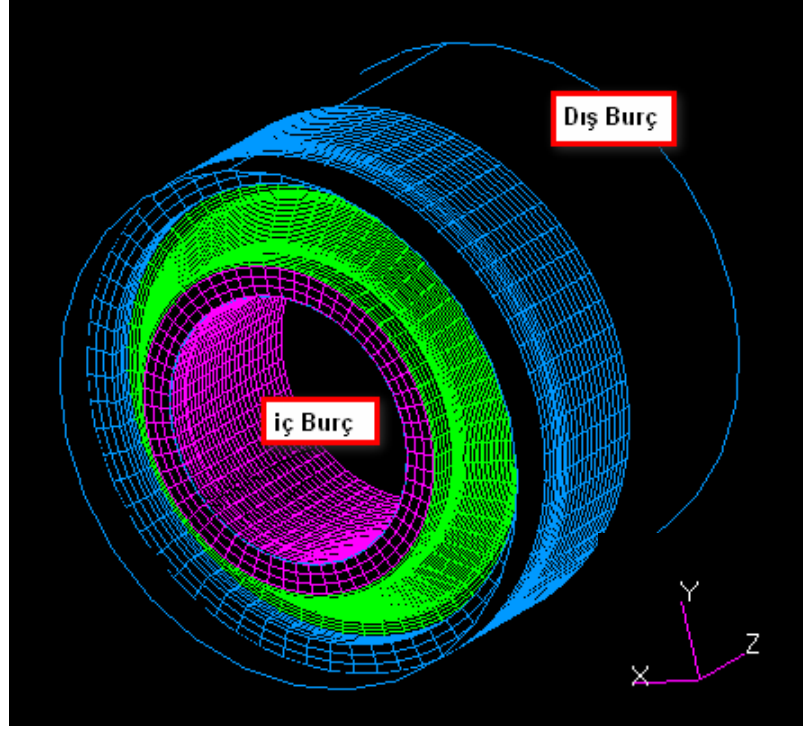
Şekil 2.1 Analizlerde Kullanılan Tek Katmanlı Burç Modeli

Burcun sonlu elemanlar modelinin hazırlanmasında **MSC.Patran 2008** ara yüzü tercih edilmiştir. Modelde Hex8 eleman tipinde 32221 eleman kullanılmıştır. Analiz sırasında fazla deformasyon beklenen bölgelerde ağ yapısında sıklığın artırılmasıyla hassas sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 Analizlerde Kullanılan Tek Katmanlı Burç Sonlu Elemanlar Modeli – 1

Analizde kolaylık sağlaması için geometrik sadeleştirmeler yapıldıktan sonra, sınır şartlar ve analiz aşamaları tanımlanmıştır. Analizde iki aşamalı bir yükleme yapılmıştır. Birinci aşamada Şekil 2.3 te gösterilen dış burç ötelenme hareketi yapmadan, X ve Y doğrultularında ölçeklendirme yöntemiyle burca ön sıkıştırma işlemini uygularken, ikinci aşamada iç burç Y doğrultusunda hareket ederek radyal katılık değerleri ölçülmüştür.

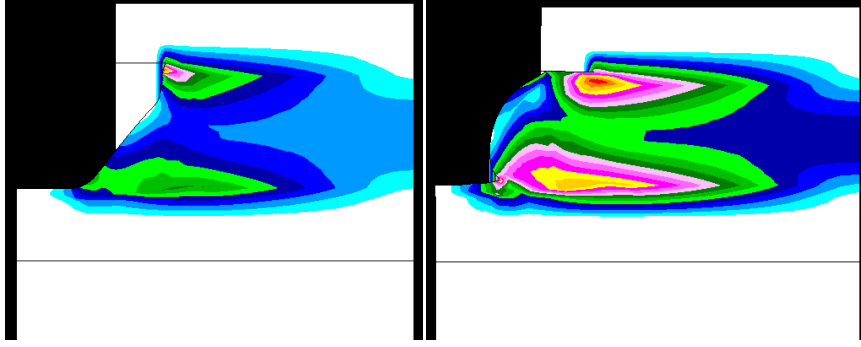


Şekil 2.3 Analizlerde Kullanılan Tek Katmanlı Burç Sonlu Elemanlar Modeli – 2

Ön sıkıştırma işleminin uygulaması için **MSC.Patran 2008** arayüzünde “Fields/Non-Spatial/Tabular Input” komut bütünü kullanılarak zamana bağlı bir tablo oluşturulmuş ve bu tablo “Load/BCs/Contact/Rigid Body” komut bütününde “Grow Factor” alanları kullanılarak zamana bağlı bir geometrik ölçeklendirme yapılmıştır.

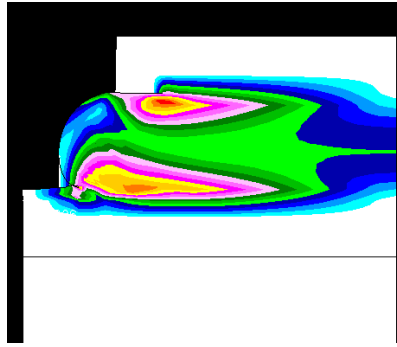
Sonlu elemanlar modelinde malzeme tanımlamalarında çelik iç ve dış burçlar için elastik malzeme tanımı yapılmış ve Elastisite Modülü : 206 Gpa, Poisson Oranı : 0,30 malzeme verileri kullanılmıştır. Kauçuk malzeme ise Kayacı ve ark., 2011 referans çalışmasından elde edilen 55ShA doğal kauçuk malzeme verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada Mooney Rivlin 2 katsayılı malzeme modeli için, verilerin elde edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Ön sıkıştırmanın radyal katılık üzerine etkisini incelemek için bir adet ön sıkıştırmasız ($\varnothing 27\text{mm}$) ve iki adet ön sıkıştırımlı model ($\varnothing 26\text{mm}$, $\varnothing 25,6\text{mm}$) üzerinde analizler yapılmıştır. Ön sıkıştırma oranları, kauçuk kalınlığı göz önüne alınarak ön yükleme ile kauçuk kısım üzerindeki birim şekil değişikliği %20 yi geçmeyecek şekilde belirlenmiştir. Her bir analiz, kauçuk geometrisinin radyal katılık üzerine etkilerini değiştirmemesi için aynı geometrik model üzerinde yapılmıştır. Analizlerde çözücü olarak **MSC.Marc 2008 R1** kullanılmıştır.



a. 27mm (Çaplanmamış)

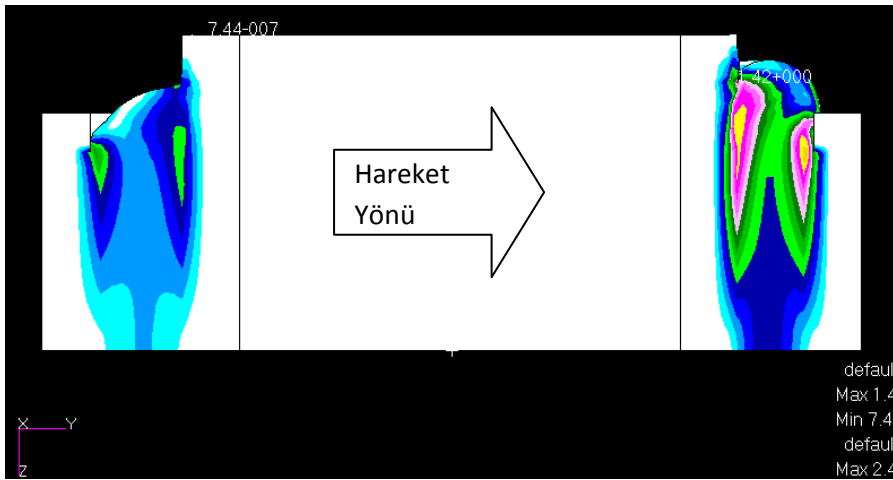
b. Ø26mm (1mm çaplanmış)



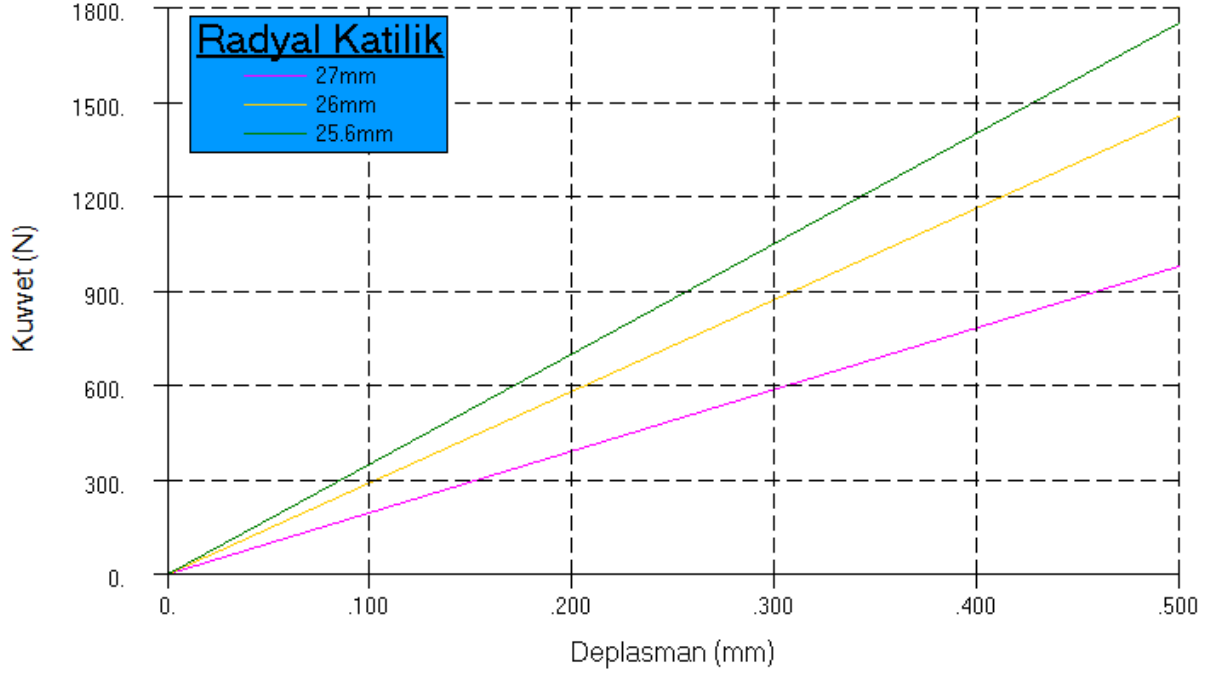
c. Ø25,6mm (1,4mm çaplanmış)

Şekil 2.4 Çaplanmış Burç Modelleri

Ön sıkıştırma işleminden sonra modellerin “*Rigid Body*” olarak tanımlanmış iç burçları Y eksenine doğrultusunda 0,5mm hareket ettirilerek (Şekil 2.5) “*Rigid Body*” üzerine etkileyen Y eksenine kuvveti ve Y eksenindeki hareketi grafik haline getirilmiştir. (Şekil 2.6) Radyal katılık değerleri sayısal ifadelerle Çizelde 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2.5 İç Burç Hareket Ettirilmiş Analiz Modeli

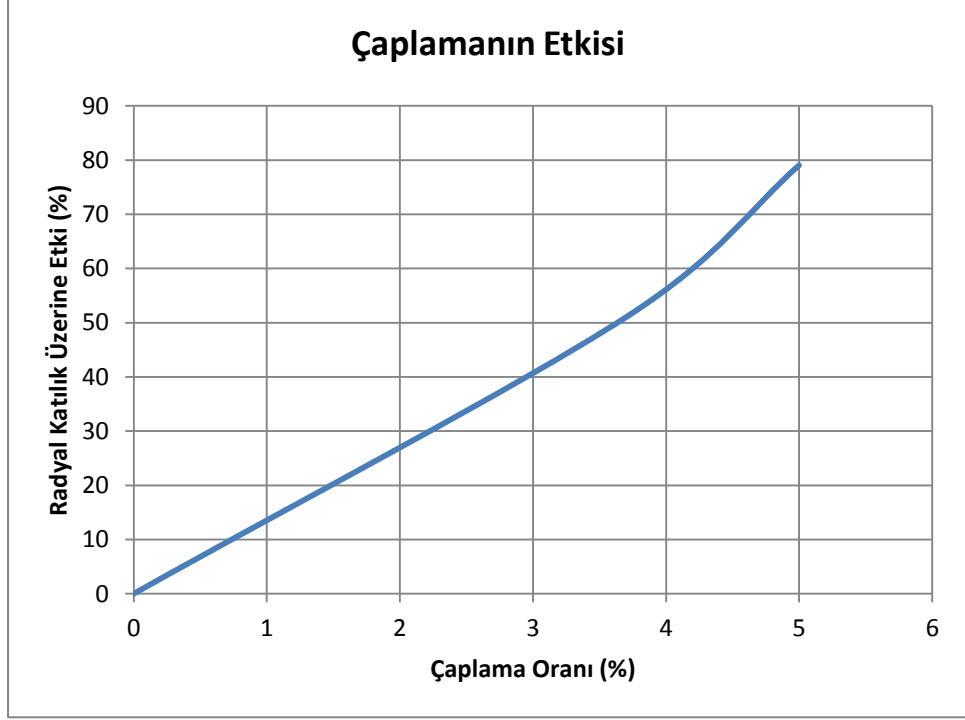


Şekil 2.6 SEA Radyal Katılık Değerleri Grafiği

Ön sıkıştırmanın radyal katılık değerleri üzerine etkisi burç geometrisine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Hesaplanan değerler tek katmanlı bir burç tasarımının başlangıcında referans olarak kullanılabilirler.

Çizelge 2.1 SEA Radyal Katılık Değerleri Tablosu

Model Açıklanması	SEA Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Ön sıkıştırma Oranı	Radyal Katılık Değerindeki Artış oranı (Ø27 ye göre)
Ø27mm (Çaplanmamış)	1881,96	%0	-
Ø26mm (1mm çaplanmış)	2833,37	%3,7	%51
Ø25,6mm (1,4mm çaplanmış)	3376,83	%5	%79



Şekil 2.7 Ön sıkıştırmanın Etkisi

2.2. Radyal Katılık Testi

SEA çalışması tamamlandıktan sonra, oluşturulan modelin ve kullanılan metodun doğrulanması için üretilen $\varnothing 27\text{mm}$, $\varnothing 26\text{mm}$ ve $\varnothing 25,6\text{mm}$ çaplı numuneler (Şekil 2.8) MTS 831.10 elastomer test sisteminde (Şekil 2.9) test edilmiştir. Sistem $\pm 25\text{kN}$ loadcell kapasiteli, 60mm piston hareketi olan ve 0-200Hz frekans aralığında çalışabilecek yapıya sahiptir.



Şekil 2.8 Test Numuneleri (a. $\varnothing 27\text{mm}$ b. $\varnothing 26\text{mm}$ c. $\varnothing 25,6\text{mm}$)



Şekil 2.9 MTS 831.10 Elastomer Test Sistemi

Test parametreleri olarak

Kondisyonlama :

- Test Hızı : 30mm/dk
- Piston Hareketi : ± 1 mm
- Tekrar : 3

Test :

- Test Hızı : 30mm/dk
- Piston Hareketi : ± 1 mm
- Ölçüm Aralığı : $\pm 0,25$ mm

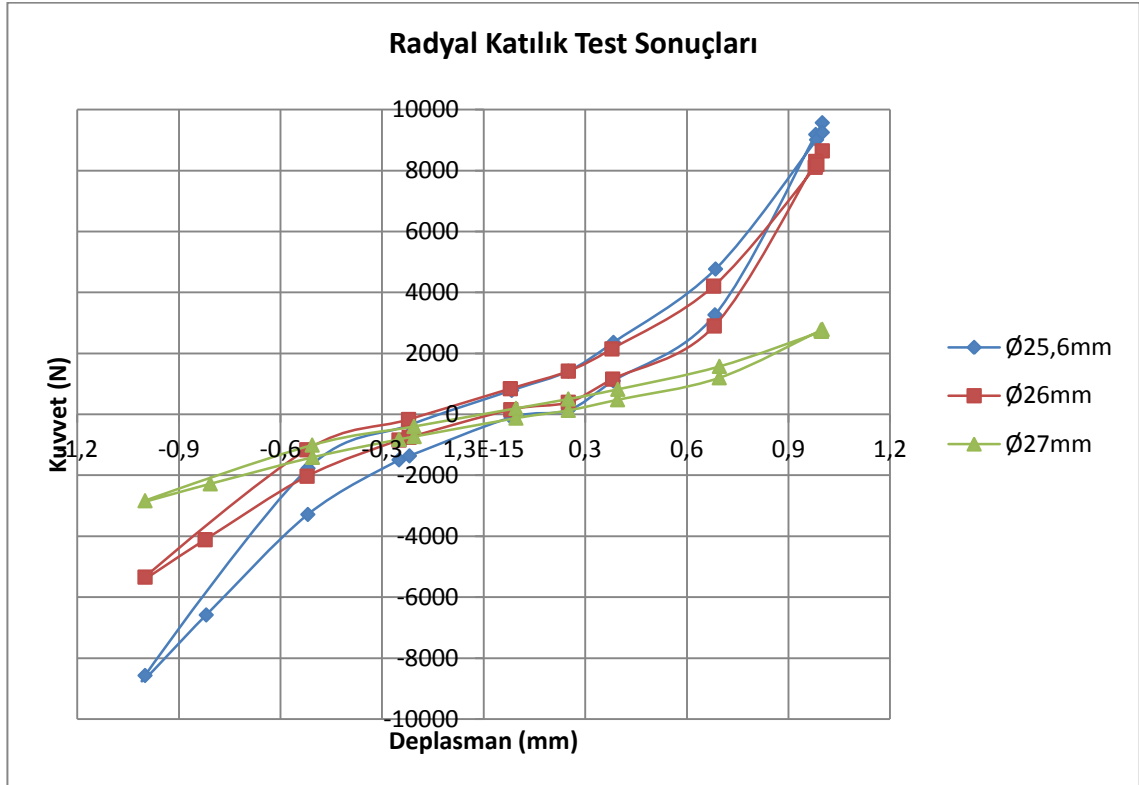
kullanılmıştır.

Test sonuçlarının kararlılığı için her bir numune tipi için 3 er adet parça test edilerek sonuçların ortalaması alınmıştır. (Çizelge 2.2)

Çizelge 2.2 SEA ve Test Radyal Katılık Değerleri Karşılaştırması

Model Açıklanması	Test Radyal Katılık Değeri (N/mm)	SEA Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Fark
Ø27mm (Çaplanmamış)	1939,92	1881,96	+%3
Ø26mm (1mm çaplanmış)	2921,31	2833,37	+%3
Ø25,6mm (1,4mm çaplanmış)	3517,53	3376,83	+%4

SEA ve test sonuçları arasındaki hata en fazla %4 mertebesinde olduğu için analiz metodu ve malzeme bilgilerinin doğrulukla kullanıldığı söylenebilir.



Şekil 2.10 Radyal Katılık Test Sonuçları

2.3. Ömür Testi

Son aşamada parçayı sürekli bası yükleri altında tutarak parça ömrünü artırmaya yönelik olarak yapılan ön sıkıştırmanın parça ömrü üzerine etkisi incelenmiştir. Testlerde radyal katılık ölçümlerinin yapıldığı MTS 831.10 elastomer test sistemi kullanılmıştır.

Test parametreleri olarak

Ömür Testi :

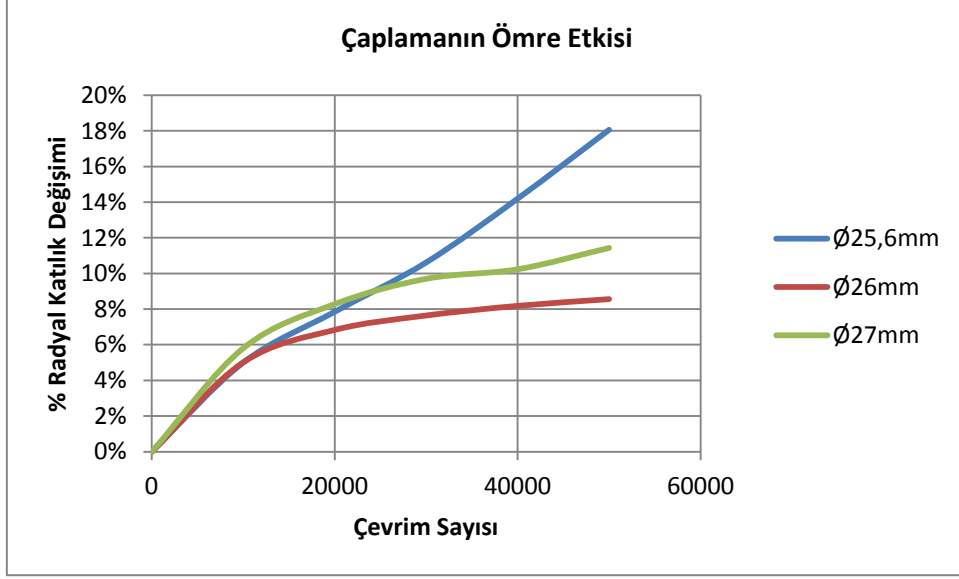
- Yükleme Dalga Tipi : Sinüs
- Genlik : $\pm 0,4$ mm
- Frekans : 5Hz
- Tekrar Sayısı : 50000 çevrim

kullanılmıştır.

Test başı, test sonu ve her 10000 çevrimde radyal katılık ölçümleri yapılarak değişimleri takip edilmiştir. Bir numune tipi için 3 er adet parça test edilerek sonuçların ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 2.3 Ön sıkıştırmanın Parça Ömrüne Etkisi

Çevrim Sayısı	Ø27mm Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Ø27mm için Başlangıca göre Değişim (%)	Ø26mm Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Ø26mm için Başlangıca göre Değişim (%)	Ø25,6 Radyal Katılık Değeri (N/mm)	Ø25,6mm için Başlangıca göre Değişim (%)
Test Başı	1939,92	-	2921,31	-	3517,53	-
10000	1842,92	5%	2774,86	5%	3313,27	6%
20000	1787,64	8%	2721,71	7%	3226,12	8%
30000	1734,01	11%	2698,07	8%	3176,16	10%
40000	1664,65	14%	2682,31	8%	3157,40	10%
50000	1589,74	18%	2671,30	9%	3115,27	11%



Şekil 2.11 Ön sıkıştırmanın Parça Ömrüne Etkisi

Şekil 2.9 ve Çizelge 2.3 te verilen sonuçlar ön sıkıştırmanın parça ömrüne üzerine olan etkisini göstermektedir.

3. Sonuç

Yapılan çalışmada SEA kullanılarak tek katmanlık kauçuk-metal bir burcun ön sıkıştırma işlemi için metot belirlenmiş ve radyal katılık testleri ile bu analiz metodu doğrulanmıştır. Analiz sonuçları ile test sonuçları arasında %4 mertebesinde kabul edilebilir bir hata bulunmaktadır. Son aşama da üç farklı ön sıkıştırma değerine sahip burçlar ömür testine tabi tutularak test başlangıcı ve test sonucu arasındaki burç radyal katılık değerleri karşılaştırılarak ön sıkıştırmanın ömre etkisi incelenmiştir. Ömür testi sonucunda hiç ön sıkıştırma yapılmamış (Ø27mm) ve 1,4mm ön sıkıştırma yapılmış (Ø25,6mm) burçların, 1mm ön sıkıştırma yapılmış burçlara göre daha özelliklerinin daha fazla değiştiği görülmüştür. Sonuç itibari ile optimize edilmiş bir ön sıkıştırma işlemi parça ömrüne olumlu etki sağlarken, ön sıkıştırma oranının artırılması parça ömrünün azalmasına sebebiyet verdiği görülmüştür. Çalışmanın devamı olarak farklı geometrik ölçülere sahip burçlarla aynı çalışma tekrarlanarak grafikler geliştirilecektir.

<u>Şekil – Tablo – Grafik İndeksi</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Çeşitli Kauçuk-Metal Burçlar (Heiβing, ve Ersoy, 2011)	2
Şekil 1.2 Tek Katmanlı Kauçuk-Metal Burç	2
Şekil 1.3 Ön sıkıştırma Şematik Gösterimi	3
Şekil 2.1 Analizlerde Kullanılan Tek Katmanlı Burç Modeli	4
Şekil 2.2 Analizlerde Kullanılan Tek Katmanlı Burç Sonlu Elemanlar Modeli – 1	5
Şekil 2.3 Analizlerde Kullanılan Tek Katmanlı Burç Sonlu Elemanlar Modeli – 2	5
Şekil 2.4 Çaplanmış Burç Modelleri	6
Şekil 2.5 İç Burç Hareket Ettirilmiş Analiz Modeli	7
Şekil 2.6 SEA Radyal Katılık Değerleri Grafiği	7
Şekil 2.7 Ön sıkıştırmanın Etkisi	8
Şekil 2.8 Test Numuneleri (a.Ø27mm b.Ø26mm c. Ø25,6mm)	9
Şekil 2.9 MTS 831.10 Elastomer Test Sistemi	9
Şekil 2.10 Radyal Katılık Test Sonuçları	11
Şekil 2.11 Ön sıkıştırmanın Parça Ömrüne Etkisi	13
Çizelge 2.1 SEA Radyal Katılık Değerleri Tablosu	8
Çizelge 2.2 SEA ve Test Radyal Katılık Değerleri Karşılaştırması	10
Çizelge 2.3 Ön sıkıştırmanın Parça Ömrüne Etkisi	12

Referanslar

Gent, Alan. 2001. *Engineering with Rubber – How to Design Rubber Components*. Hanser Publisher, Münih, 373.

Heiβing, Bernd. ve Ersoy, Metin. 2011. *Chassis Handbook*. MercedesDruck, Berlin, 591s.

Kayaci, Savaş., Eşiyok Y.Emre. ve Cevher, Murat., Las-Par Kauçuk Yedek Parça San. Tic. Ltd. Şti : *Experimental investigation on the dynamic modulus change of Natural Rubber under principal loading modes and different dynamic conditions*. Bursa-2011

Slack, Charles. 2002. *Noble Obsession: Charles Goodyear, Thomas Hancock and the Race to Unlock the Greatest Industrial Secret of the Nineteenth Century*. Hyperion, Michigan Üniversitesi, 274s.