



Design and verification of elastomer spring damping system for automobile powertrain systems

Mehmet Onur Genç^{1*} , Necmettin Kaya² 

¹Valeo Automotive Systems, Bursa, Turkey

²Bursa Uludağ University, Mechanical Engineering, 16059, Bursa, Turkey

Highlights:

- Automobile powertrain system dynamics
- Elastomer clutch damper spring validation
- Elastomer spring durability under dynamic forces

Keywords:

- Elastomer damper spring
- Clutch disc
- Clutch system
- Powertrain system
- System modeling

Article Info:

Research Article
Received: 26.12.2019
Accepted: 09.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.665159

Correspondence:

Author: Mehmet Onur Genç
e-mail: mehmet-onur.genc@valeo.com
phone: +90 507 432 6716

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the comparison has been performed with the traditional metallic helical springs, and the advantages and disadvantages of the systems with elastomer springs and metallic springs were revealed with analysis and test results. The flowchart of the study can be seen below;

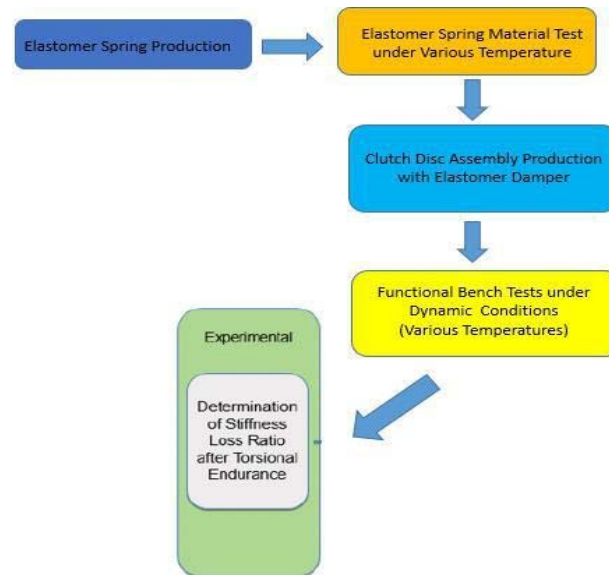


Figure A. Elastomer damper spring validation methodology performed in the study

Purpose: The main objective is to observe the performance of new generation elastomer damper in an automobile powertrain system based on experimental approach comparatively with conventional metallic damper systems.

Theory and Methods:

Experimental bench tests have been performed to reveal the behavior of the elastomer damper clutch in the powertrain system of the automobiles.

Results:

Due to the hyperelastic and viscoelastic properties, the elastomer materials react unlike to metal materials depending on many variables such as strength, time, temperature and material properties. Numerical results are indicated in the manuscript.

Conclusion:

Results of the study show that due to hyperelastic and viscoelastic properties of rubbers, the stiffness characteristic of rubber spring tends to loose within the time which may cause insufficient vibration damping. Also, this study provides and presents new testing and optimization approaches on the clutch disc using rubber damper springs.



Otomobil güç aktarım sistemleri için elastomer yaylı sönüm sisteminin tasarımı ve doğrulanması

Mehmet Onur Genç^{1*}, Necmettin Kaya²

¹Valeo Otomotiv Sistemleri, Bursa, Turkey

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Turkey

ÖNEÇIKANLAR

- Otomobil güç aktarım sistemi dinamikleri
- Elastomer debriyaj damper yayının doğrulanması
- Dinamik kuvvetler altında elastomer yayın dayanıklılığı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 26.12.2019
Kabul: 09.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.665159

Anahtar Kelimeler:

Elastomer damper yayı,
debriyaj diski,
debriyaj sistemi,
güç aktarım sistemi,
sistem modellemesi

ÖZET

Otomobillerde artan yüksek konfor gereksinimleri, optimum sistem tasarımı ve uzun kullanım ömrü gerekliliklerini ortaya koymuştur. Bu çalışmada otomobil debriyaj sistemlerinde elastomer tabanlı malzemelerin sönümleyici olarak kullanılması tasarım, test ile doğrulama, tasarım ve sistem optimizasyonu temel aşamaları dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda geleneksel metal helisel yaylar ile karşılaştırma yapılarak, elastomer yaylı ve metal yaylı sistemlere ait avantaj ve dezavantajları analiz ve test sonuçları ile gösterilmiştir. Elastomer malzemeler hiperelastik ve viskoelastik özelliklerinden dolayı kuvvete, zamana, sıcaklığa, malzeme özellikleri gibi birçok değişkene bağlı olarak metal malzemelerden farklı tepkiler gösterirler. Sürüş güvenliği, mekanik sağlamlık ve ürün ömrü otomobillerde garanti altına alınması gereken konulardır, bu sebeple yüksek dinamik ve termal yüklerle maruz kalan debriyaj sisteminde elastomer yay rijitliği için güvenlik faktörü seçiminde yapılması gereken yaklaşımlar da ortaya konulmuştur. Elastomer yay malzeme testleri, son ürün testleri ve sonlu elemanlar analizi ile doğrulanmasının ardından komple otomobil güç aktarım sistemi bir boyutlu modellenerek sistem davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Otomobil debriyaj sistemleri için elastomer yayların incelenmesi ve bu yayların güç aktarım sistemi için optimizasyonu bu alanda yapılan yeni bir çalışma olup, alternatif malzemelerin yeni nesil otomobillere adaptasyonu ve uygulanması konusunda temel oluşturabilecek niteliktedir.

Design and verification of elastomer spring damping system for automobile powertrain systems

HIGHLIGHTS

- Automobile powertrain system dynamics
- Elastomer clutch damper spring validation
- Elastomer spring durability under dynamic forces

Article Info

Research Article
Received: 26.12.2019
Accepted: 09.05.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.665159

Keywords:

Elastomer damper spring,
clutch disc, clutch system,
powertrain system,
system modeling

ABSTRACT

Increased comfort requirements on vehicles have been revealed that optimum system design and long product life necessities. In this study, the using of elastomer based materials as damping element have been investigated by taking into consideration of design, validation with bench tests, design and system optimization phases. In the studies, the comparison has been performed with the traditional metallic helical springs, and the advantages and disadvantages of the systems with elastomer springs and metallic springs were revealed with analysis and test results. Due to their hyperelastic and viscoelastic properties, the elastomer materials react unlike to metal materials depending on many variables such as strength, time, temperature and material properties. Driving safety, mechanical endurance, and product life are the issues that need to be guaranteed, hence also the approaches on the selection of safety factor for elastomer spring stiffness have been revealed on the clutch system that is subjected to high dynamic and thermal forces. Following to design and validation phases, the design and system optimizations of elastomer damper spring, at which the hyperelastic and viscoelastic behaviors are characterized, have been performed. The investigation of elastomer damper springs and the optimization of this springs to the powertrain system are the new study in this specific area and enable to obtain of basics amongst to adaptation and applying of alternative materials to the new generation vehicles.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elastomer malzemeler, metalik malzemelerden farklı olarak, çalışma süresine, frekansa ve termal yüklere duyarlı polimer zincirlerinden oluşan malzemelerdir. Bu parametreler, çalışma koşulları sırasında yüksek dinamik kuvvetlere ve değişkenlere sahip otomobil güç aktarım sistemleri üzerinde elastomer malzemelerin daha fazla araştırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Elastomer tabanlı malzemeler otomobiller dahil birçok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Damper yayı rijitliği, motorda üretilen torka dayanım açısından en önemli parametrelerin başında gelmektedir ve ürün ömrü boyunca rijitlik değerini koruyarak kendinden beklenen mekanik performansı karşılamalıdır. Beklenenden daha fazla damper yayı rijitliği kaybı olması durumunda titreşim istenen seviyede sönmülmeyebilir ve bu durum otomobilde düşük konfor ve mekanik tehlikelere neden olur. Otomobilde sürüş konforunu ve emniyet gereksinimlerini sürdürebilmek için araç tipine ve güç aktarım sistemine göre uygun tork emniyet faktörü ile çalışılmalıdır. Kullanılan damper malzeme özelliklerine göre dizayn edilmesi gereken damper tasarımında dinamik koşullar altında rijitlik kaybı fonksiyonel tezgah testleriyle doğrulanmalıdır. Elastomer tabanlı malzemeler için dinamik koşullar altında malzeme davranışını temsil etmek için bu çalışmada Nitril Kauçuk (NBR) seçilmiştir. Bu çalışmada ortalama termal direnç, aşınma direnci, yağ direnci vb. özellikleri Nitril kauçuk (NBR) malzemesinin seçilme nedenlerinden olmuştur. Elastomer malzemeler arasında ortalama bir dayanım davranışına sahip NBR bazlı disk yayının testleri, analizleri ve modellenmesi genel elastomer malzemelerin debriyaj sistemlerinde göstereceği davranışı temsil edecek ve yaklaşım yaparak önermelerin sunulmasına imkan sağlayacaktır. Bu çalışmada yapılan tezgah testleri, modelleme, tasarım ve optimizasyon çalışmaları 75 Nm araç torkuna sahip orta segment benzinli motora sahip bir araç dikkate alınarak yapılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan NBR kauçuk, elastomer sertlik değeri araç tork değeri dikkate alınarak istenen hedef rijitliği sağlaması için 70 Shore A değerinde seçilmiştir.

Literatürde elastomer tabanlı malzemeler ve elastomer malzemelerin kullanıldığı sistemler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kauçukların hiperelastik ve viskoelastik özelliklerinin malzeme modeli ve testlerle doğrulanması ile ilgili olmakla birlikte, hiper-viskoelastik modelleme ile hem statik hem de dinamik özelliklerinin birlikte incelenmesini de içermektedir. Jadhav vd. [1] doğal kauçuk ve silikon gibi elastomer tabanlı malzemelerin mekanik davranışlarının ve kaslardan deri dokusuna kadar değişen biyolojik dokuların hiperelastik modellenmesine çalışmışlardır. Wu vd. [2] çalışmalarında hiperelastik modelleme ile sonlu elemanlar analizi yöntemi ve Ogden hiperelastik malzeme modelini kullanarak kauçukları modellemişlerdir. Ayrıca, tek eksenli, çift eksenli testler ve basit kayma testleri ile deneysel veriler elde etmişlerdir. Bu çalışmada daha sonra hiperelastik malzeme modelini,

viskoelastik malzeme modelini genelleştirilmiş Maxwell modeli ile birleştirerek hiperviskoelastik malzemelerin yapısal modelini ayrıntılı olarak açıklayıp, hassas parametreleri incelemişlerdir. Mohammed [3] yumuşak yapıda kauçuk bir malzemenin modellenmesini incelemiştir. Bu çalışmada Prony serisi ile temsil edilen viskoelastik model ve hiperelastik malzeme modelleri incelenmiştir. Kumar ve Rao [4] hiperelastik Mooney-Rivlin davranışı temelinde bir elastomer malzemeye ait malzeme yoğunluğu işlevini ve sıkıştırılmaz olarak kabul edilen non-lineer yük karakteri sergileyen kauçuk malzemelerin gerilme tensörlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında iki, üç, beş veya dokuz parametreden oluşan Mooney-Rivlin malzeme modelinin gerilim enerjisi işlevi, stres eğrileri ve stabilite kriterlerini sınıflandırarak karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Kotapalli vd. [5] çalışmalarında rotor-taşıt elastomerik damperlerinin histerezis döngülerini içeren hiperelastik, viskoz ve doğrusal olmayan davranışları modellemeyi amaçlamışlardır. Her iki modelde depolama ve kayıp modülleri için kabul edilebilir sonuçlar elde etmişlerdir. Sause vd. [6] kauçuk malzemeler için hızla bağımlı ve hızdan bağımsız histeretik (yük kaybı) analizleri yapmışlardır. Farklı kauçuk örnekleri ile histeresiz davranışlarını araştırıp, titreşim sönmülmesinde histeresizin önemini vurgulamışlardır. Marvalova [7] izotermal koşullarda deformasyon sırasında kauçuk yapıların mekanik davranışını karakterize ederek viskoelastik stres tepkisini deneysel olarak ölçmüştür. Viskoelastik stres yumuşama davranışı (Stress-softening) dikkate alınarak yapısal fonksiyon parametreleri değişken frekanslar altında incelenmiştir. Melnik vd. [8] dinamik koşullar altında elastomerlerin doğrusal olmayan özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, zaman, sıcaklık ve yer değiştirme açısından yüksek frekans altında çalışan elastomer malzemelerin ısı davranışlarını araştırmışlardır. Elastomer malzemelerde malzeme rijitliğindeki azalma (gevşeme) süresi üzerinde sıcaklık değişiminin etkisini termomekanik sistem modellemesi ile gözlemlenmişlerdir. Pacheco vd. [9] viskoelastik malzemelerin mekanik davranışlarını diğer faktörlere ek olarak zaman ve sıcaklık gibi değişkenler temelinde araştırmışlardır. Prony serisi kullanılarak viskoelastik gevşeme davranışı ve elde edilen deneysel veriler, zaman tabanlı viskoelastik analiz sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Monsia [10] çeşitli viskoelastik malzemelerin zamana bağlı özelliklerini modellemek için bir dashpot ile seri bağlanmış lineer olmayan özelleştirilmiş bir Maxwell viskoelastik malzemenin modelini inceleyip, kurdukları matematiksel modelin adımlarını sunmuştur. Yumuşak kauçuk bir malzemenin visko-hiperelastik olarak modellenme aşamalarını inceleyip, Prony serisi ile temsil edilen viskoelastik model ve hiperelastik malzeme modeli detaylarını paylaşmışlardır.

Kauçuk damper yayların otomobil güç aktarım sistemlerinde sönmüleyici olarak kullanılmasında NVH (Noise, vibration, harshness) performanslarında farklı sonuçlar beklenmektedir. Geleneksel olarak kullanılan metal damper

yayları ile literatürde daha çok çalışmalar mevcuttur. Genç vd. [11] otomobil güç aktarma sisteminin modal analizini debriyaj ve dişli kutusu parametreleri ile incelemiş, metal damper yayının rijitlik özelliğinin tüm sisteme olan etkisini ve sistem sönüm performanslarını gözlemlemişlerdir. Oktav vd. [12] çalışmalarında kütle temelli sönüm sisteminin dinamiğini inceleyerek araçlarda düşük motor tahrik frekanslarında uğultu problemlerinin çözümü üzerine yöntem sunmuşlardır. Elastomer tabanlı malzemeler viskoelastik özelliklerinden dolayı zamana bağlı değişken mekanik özelliklere sahiptirler ve bu davranış araç üzerinde değişken rijitlik ile değişken sönümleme performansı sağlar. Genç vd. [13] kauçuk damper yaylarının zamana bağlı rijitlik davranışlarını debriyaj fonksiyonel damper torku makinasında ölçerek sınıflandırmışlardır. Elde ettikleri sonuçları bir boyutlu modelleme ile doğrularak NVH performansına temel olacak parametreleri belirlemişlerdir. Elastomer damper yayları düşük özgül ağırlıkları sayesinde aracın vites değişimleri sırasında debriyaj damper grubunun daha kolay durmasını ve vites değişiminin sağlanmasına olanak sağlarlar. Bu sayede araç konforunda artış sağlanarak istenen akustik seviye sağlanabilmektedir. Köylü [14] çalışmasında araçta vites değişimi mekanizmasının dinamik temellerini paylaşmıştır. Güç aktarım sisteminde şanzıman ve motor grubu arasında mevcut olan özgül ağırlık parametresinin dinamik şartlarını sunmuştur.

Elastomer malzemelerin esasında bulunan polimer zincirlerinin tekrarlı yüksek yükler ve ısıl yükler sebebiyle bozularak rijitliğini kaybetmesi gibi sonuçların meydana gelebileceği ve bu durumun iyileştirilmesi için yapılması gereken işlemler bu çalışmada ortaya konulmuştur. Debriyaj sistemleri için elastomer yaylı sönümleyiciler literatürde çalışılmamış olup, bu çalışması elastomer malzemeler gibi alternatif malzemelerin otomobil kavrama sistemlerinde kullanılmasına temel oluşturacak ve güç aktarım sistemi dinamiklerine göre elastomer sönümleyici geliştirilmesi için tasarım ve test prosedürlerinin oluşturulmasına yaklaşımlar geliştirecektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Debriyaj, otomobil güç aktarım sisteminde tork iletimi sağlamakla birlikte motordan kaynaklanan düzensizlikleri sönümlemekten sorumludur. Şekil 1 'de görülebileceği gibi volan, motor krank miline ve debriyaj kapak grubuna (3) bağlanmıştır. Debriyaj disk kompleksi (2) baskı kompleksi (3) ve volan (1) arasına sıkıştırılarak motordan şanzımana tork akışını sağlar.

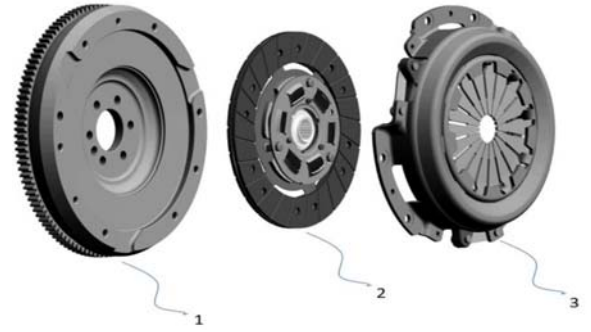
Debriyaj diskinin tork aktarma rolü, günümüzde geleneksel olarak metal yaylardan oluşan damper sistemleri ile elde edilir. Elastomer yaylar, yüksek aşınma direnci, uzun ömür, titreşim sönümleme kabiliyeti ve düşük ağırlık değerleri metalik yaylara kıyasla bazı önemli avantajlara sahiptir ve maliyeti düşürür. Sürtüş koşullarındaki dinamik değişkenlere bağlı olarak motor ile şanzıman arasında bağıl hareketler meydana gelir. Volan ve debriyaj diski arasındaki bağıl

hareket slipaj (kayma) ve enerji açığa çıkması ile sonuçlanır. Kayma sırasında, debriyaj mahfazasındaki termal yük artar ve bu bileşenlerin malzeme özelliklerinde kalıcı veya geçici değişikliklere neden olabilir. Sürtünme ile balata malzemelerinde aşınmanın artmasına neden olmaktadır. Tekrarlanan kavrama ve ayırma durumu debriyaj mahfazasındaki sıcaklığı artırır. Tork iletimi T [Nm], F [N] sıkıştırma kuvveti, sürtünme katsayısı μ , sürtünme yüzey sayısı N ve ortalama yarıçap R_m ile orantılıdır (Eş. 1) [15].

$$T = (F) (\mu) (R_m) \quad (1)$$

Debriyaj sisteminde ayırma ve kavrama fazı sırasında sürtünme ile açığa çıkan ısı, ortamda yayılarak volan ve debriyaj arasında dağılır. Isı, özgül ısı C [J / kgK] ve kütle m [kg] 'ye bağlı olarak katı parçalar arasındaki iletimle iletilir (Eş. 2).

$$Q = (M)(Cp)(\Delta T) \quad (2)$$



Şekil 1. Elastomer damperli debriyaj sistemi
(Clutch system with elastomer damper)

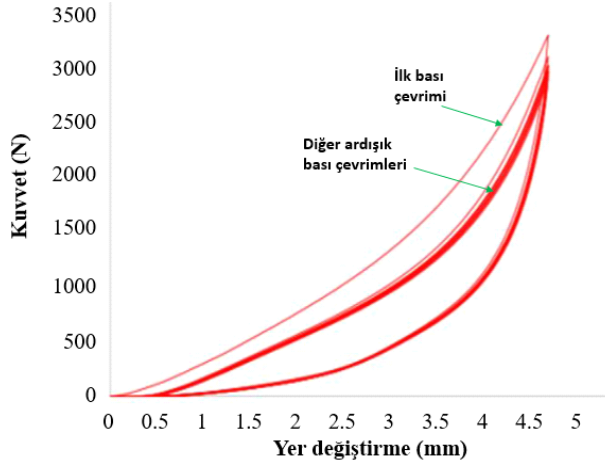


Şekil 2. Debriyaj diski damper torku ölçümü
(Measurement of clutch disc damper torque)

Damper torku hesabında, ana damper yaylarının merkezinden disk göbeğinin merkezine kadar olan mesafe (m) ile belirlenen yer değiştirme mesafesinde oluşan yay reaksiyon kuvveti (N) çarpımı bir adet yayın sahip olduğu damper torku (Nm) değerini vermektedir (Şekil 2). Toplam yay sayısı ile bir adet yayın sahibi olduğu damper torkunun çarpımı ise debriyaj diskinin sahip olduğu toplam damper torku (Nm) değerini vermektedir (Eş. 3).

$$T (Nm) = (N)(m) \quad (3)$$

Şekil 3 Mullin etkisinin görülmesi amacıyla yapılan deneysel bası testinin sonuçlarını göstermektedir. Grafikte görülen rijitlik düşüşü ilk çevrimlerde daha çok olmaktadır, fakat belli bir çevrim sayısının ardından rijitlikte meydana gelen bu düşüş daha sonra kararlı hale gelmektedir. Viskoelastik davranışın modellenmesi elastomer yaylı debriyaj sistemleri için en önemli aşamayı temsil etmektedir. Debriyaj sistemi, yüksek dinamik yük altında ve değişken yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Bu çalışma şartlarının zaman içerisinde polimer yapıları elastomerlerde iç yapının bozulmasını hızlandırma ihtimali yüksektir ve bu da debriyajdan istenen fonksiyonelliğin alınamaması sonucunu doğurmaktadır. Elastomer malzemeler viskoz özellikleri sayesinde kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek dinamik yükleri sönümleme kabiliyetine sahiptirler. Bunun yanında ise elastik özellikleri parçayı tekrar orijinal haline getirmeye çalışır. Bu şekilde de yüksek frekanslı titreşimleri absorbe ederler.



Şekil 3. Mullin etkisinin gözlemlenmesi & Deneysel test
(Observation of Mullin effect & Experimental test)

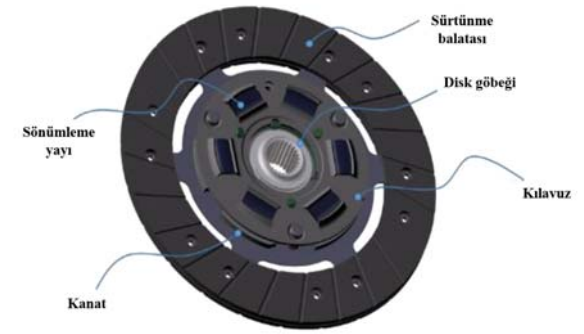
Çalışma koşulları altında her debriyaj damperi tork kapasitesinin motor torku özelliklerine göre iyi optimize edilmesi gerekir. Damper sistemi, motordan gelen üretilmiş torka dayanan ve titreşimleri sönümleme amaçlı tasarlanan seri bağlanmış yaylardan oluşur. Elastomer esaslı malzemeler sıkıştırılmaz olarak kabul edilir ve Poisson oranı 0.5 'tir [16]. Şekil 4 metal yaylı ve elastomer yaylı debriyaj disk komplelerini göstermektedir. Metal yaylı debriyaj disk ve elastomer yaylı debriyaj disk arasındaki fark damper grubuna eklenen yay malzemesi ve türüdür.

Debriyaj disk, damper yayları sayesinde sönümleme sağlamak için birbirine göre göreceli hareket eden parçalardan oluşur. Damper yayları iki grubun ortasında yer almaktadır ve damper yayları vasıtasıyla sönümleme sağlanabilmektedir (Şekil 5). Damper yay eşdeğer rijitliği her yay rijitlik değerinin toplamından oluşmaktadır. Damper yayları bu grupların ortasına yerleştirilmiş ve sönümleme onlar tarafından sağlanmıştır. Amortisör yayı

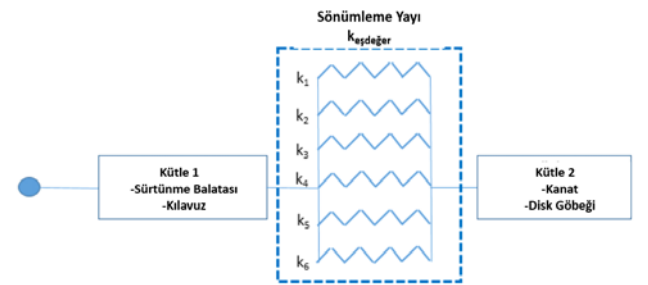
sertlik değeri, her yayın (sertlik) tek sertliğinin toplamıdır. Bu çalışmada montaj 6 yaydan oluşmaktadır. Şekil 6 ile debriyaj diskinin modellenmesi ve sönümleme sistemini göstermektedir. Debriyaj disk iki farklı kütle grubu ve bu kütle gruplarının arasında bulunan yay sisteminden oluşmaktadır.



Şekil 4. Debriyaj disk a) Metal damper yaylı debriyaj disk
b) Elastomer damper yaylı debriyaj disk
(Clutch disc with metallic and elastomeric damper versions)



Şekil 5. Elastomer damperli debriyaj disk komple ve alt komponentleri (Elastomer damper components)



Şekil 6. Debriyaj disk modeli ve alt grupları
(Clutch disc model and sub-components)

Şekil 7 damper torku fonksiyonel ölçüm makinesine aittir. Sıkıştırma aşamasında, makine disk düzeneğini ters kuvvete dayanacak şekilde sıkıştırır. Bu faz sayesinde, damper direci torku hesaplanır ve doğrusal olmayan eğri elde edilir. Serbest bırakma aşamasında ise direnç torku seçilen hızda serbest bırakılır ve elastomer damper yayları üzerindeki kuvvet giderek azalır. Şekil 8 ile bu çalışmada testlere giren elastomer ve metalik yaylı debriyaj disk komplelerinin prototip kompleleri gösterilmiştir.



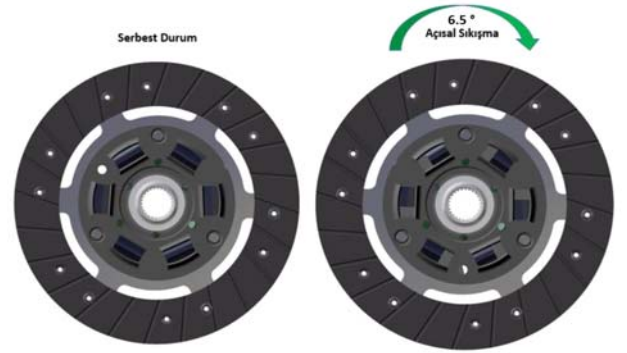
Şekil 7. Debriyaj diski damper torku ölçüm makinası (Clutch disc damper torque measurement machine)



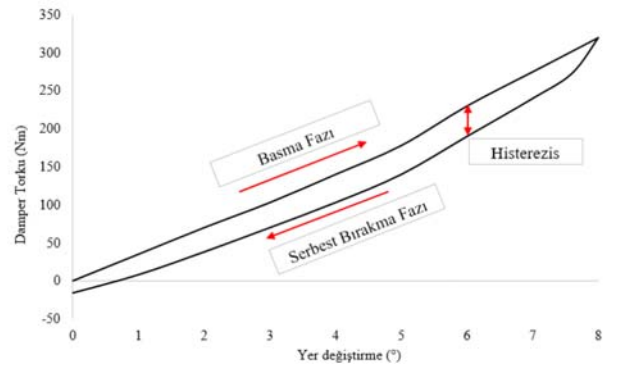
Şekil 8. Testlerde kullanılan örnek elastomer yaylı ve metalik yaylı debriyaj diski kompleleri (Prototypes of elastomer and metallic dampers)

2.1. Fonksiyonel Testler (Functional Tests)

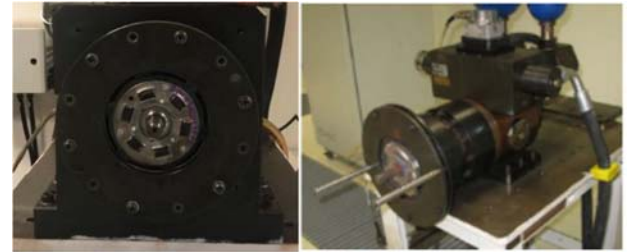
Bu bölümde anlatılan test yöntemi, debriyaj diski komplelerinin gerçek araç kullanımı koşullarında göstereceği dayanımın test edilmesinde kullanılmaktadır. Testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu testteki asıl amaç farklı frekanslarda titreşim altında elastomer damper yayları üzerinde oluşan rijitlik kayıplarının gözlemlenmesi ve elastomer yayın göstereceği davranışın karakterize edilmesidir. Bu testlerde meydana gelen 6.5° radyal sıkışma lineer olarak 4.2 mm yer değiştirme ile sonuçlanmaktadır. Burulma dayanımı testi, yaylarda motorda üretilen tork değişkenlerine karşı dayanma gücünü gösterir ve sürüş koşullarında en kötü durumu temsil edecek şekilde yapılmaktadır. Şekil 9 elastomer yaylı disk kompleksinin 'Burulma dayanımı' testinde bir çevrimde meydana gelecek açısal sıkışma durumunu ve serbest durumu göstermektedir. Sönümlenme yayları motorda tork üretilmediği durumlarda serbest konumda olurken, motorun ürettiği torkun aktarımı sırasında mutlaka sıkışma durumuna geçecektir. Şekil 10 ile açısal sıkışma durumunda elastomer damperli disk kompleksinin damper tork davranışı verilmiştir. Şekil 11 ile oda sıcaklığında yapılan testlerde kullanılan fonksiyonel bench testi gösterilmiştir. Bu test makinasına bağlanan elastomer damperli disk kompleşi, flanş aparatlar aracılığı ile dinamik test ana makinasından gelen frekansiyel tahrikler doğrultusunda sıkıştırılmaktadır.



Şekil 9. Burulma dayanıklılık testi: serbest durum ve tork altında sıkışma durumu (Torsional endurance test)



Şekil 10. Debriyaj diski damper torku eğrisi - Tork (Nm) vs. Açı (°) (Clutch disc damper torque curve-Torque (Nm) vs. Degree (°))



Şekil 11. Burulma dayanımı tezgah testi-Test makinası (Torsional endurance test machine)

2.2. Sıcaklık Altında Yapılan Fonksiyonel Testler (Functional Tests Performed under Thermal Condition)

Bu bölümde anlatılan testler, debriyaj muhafazasında oluşabilecek potansiyel sıcaklık oluşumlarında elastomer damperli debriyaj sisteminin göstereceği davranışı öngörmek amacıyla yapılmıştır. Sıcaklık debriyaj sistemi için iyi analiz edilmesi gereken bir faktördür ve sistem komponentleri üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir. Elastomer malzemelerin çapraz bağlanmış polimer zincirlerinden oluşması, sıcaklığın bu bağları zayıflatması sonucu ürün rijitliğinde azalmayı ortaya çıkarabilir. Araç kullanımı koşullarında debriyaj muhafazası sıcaklığı kullanım profiline bağlı olarak sürekli değişme eğilimi gösterir. Şekil 12 'Sıcaklık altında burulma dayanıklılığı' test makinesini göstermektedir. Bu test, frekans altında

sıkıştırılmaya paralel olarak termal yük sağlayan kapalı ısı kabini yapılmıştır. En kötü koşulları görmek ve gerçek sürüş koşullarını simüle etmek için test frekansı 6 Hz olarak seçilmiştir.



Şekil 12. Sıcaklık altında burulma dayanıklılığı testi sıcaklık kabini
(Heat cabinet of torsional endurance)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

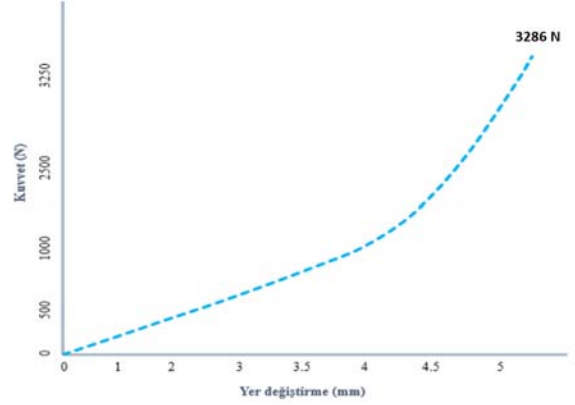
sönümleyici olarak kullanımında gösterdiği belirgin davranışlar incelenip gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların ardından hedef araç aplikasyonu için belirlenen tasarım, şekil ve sistem optimizasyonları ile güç aktarım sistem için eniyileme çalışmasına tabi tutulmuştur. Malzeme testleri elastomer yay tasarımında ve sistem modellemesinde kullanılacak en önemli verileri ortaya koymaktadır. Bu bölümde malzeme testleri gerçekleştirilirken, oda sıcaklığında ve değişken sıcaklıklar altında malzeme davranışları gözlemlenmiştir.

3.1. Oda Sıcaklığında Statik Test (Static Test under Room Temperature)

Malzeme testleri oda sıcaklığında ve değişken sıcaklıklar altında uygulanmıştır. Oda sıcaklığında bası testi elastomer yayların modellenmesinde en önemli veri olmaktadır. Şekil 13 ile bası testi tezgahı ve test numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 13. Elastomer malzeme testleri & tek eksenli bası
(Compression test of elastomer spring)



Şekil 14. NBR oda sıcaklığında bası testi (%40 bası oranı)
(NBR compression test under Room Temperature)

Bası testi oda sıcaklığında yapılmıştır. Test makinesi ölçüm kapasitesi yetmediği için %40 bası oranına (uzaması) kadar ölçüm alınabilmiştir. NBR tipinde elastomer kauçuk malzeme ASTM standartlarına göre 12.5 mm kalınlık ve 28.6 mm çap ile silindirik şekilde hazırlanmıştır. Şekil 14 NBR elastomer kauçuk malzemenin bası testi grafiğini göstermektedir. Elde edilen bu değerler gerilme-gerinim grafiğine dönüştürülerek hiperelastik malzeme modellemesi amacıyla SEA modelinde girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 15).

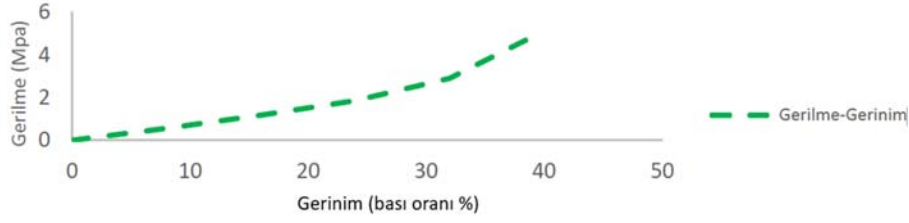
3.2. Sıcaklık Altında Statik Test (Static Test under Thermal Condition)

Bu bölümde ASTM standardına göre hazırlanan test örnekleri çeşitli sıcaklıklarda bası testine tabi tutulmuştur. Kapalı kabin altındaki elastomer yayların ısıtılmasında fırın kullanılmıştır. Isıtma süresinin bitiminden sonra test numuneleri alınmış ve bası test makinesinde bası testi yapılmıştır. Şekil 16 'da sıcaklık artışı ile birlikte NBR elastomer kauçuk malzemenin rijitliğinde azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuç debriyaj çalışma sistemi göz önüne alındığında, debriyaj muhafazasında araç sürüşü sırasında meydana gelecek sıcaklık artışları ile birlikte elastomer sönümleyici yayda rijitlik kaybı olacağını kanıtlamaktadır. NBR bazlı kauçuk, test örneklerinde kademeli olarak lineer rijitlik kaybı göstermiştir.

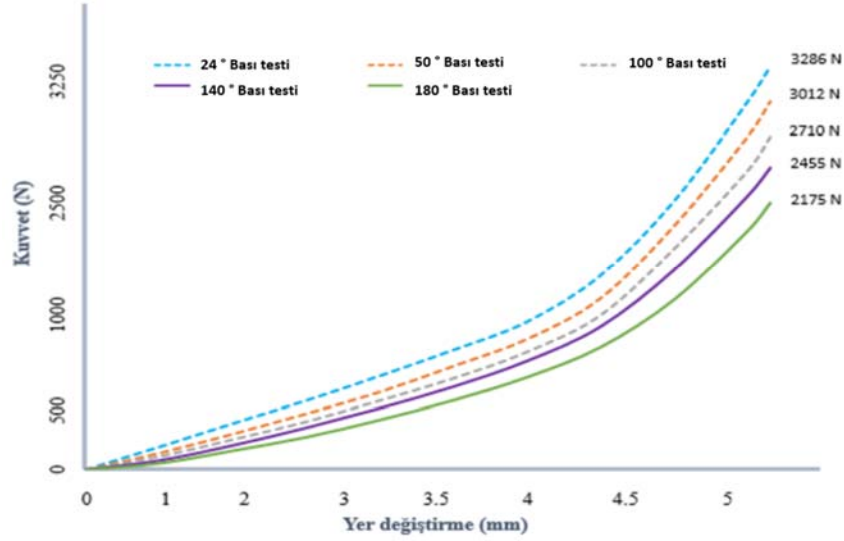
Tablo 1 'de sıcaklık artışları ile birlikte meydana gelen rijitlik kayıpları gösterilmiştir. Bu sonuçlar araç kullanım koşullarında meydana gelecek artışlarla birlikte elastomer yayda rijitlik kaybının olacağını öngörülmesini gerektirir. Bu durum, elastomer malzemenin termal dayanımının artırılması için sıcaklığa direnci arttıracak yeni kauçuk reçetelerinin hazırlanmasını ortaya koymaktadır.

3.3. Oda Sıcaklığında Fonksiyonel Testler ve Metal Yaylarla Karşılaştırmalar (Functional Tests at Room Temperature and Comparisons with Metal Springs)

Testler 1 Hz ile 6 Hz arasındaki çeşitli frekans koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu testler sırasında kauçuk yaylı



Şekil 15. NBR Kauçuk oda sıcaklığında gerilme-gerinim eğrisi (Stress-Strain Curve)



Şekil 16. Sıcaklık altında bası testi karşılaştırma grafiği (%40 bası oranı) (Compression test under Various Temperature)

Tablo 1. Çeşitli sıcaklıklarda karşılaştırmalı kauçuk sıkıştırma testi (Rubber compression test under Various Compressions)

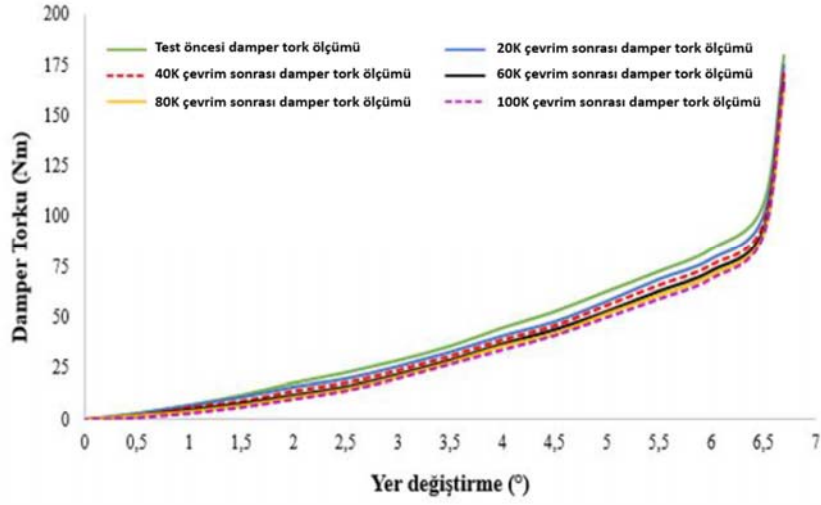
Örnek numarası	Sıcaklık (°C)	Süre (Dakika)	5 mm sıkıştırma değerinde basma reaksiyon kuvveti (N)	5 mm sıkıştırma değerinde kuvvet kaybı (%)
1	24	-	3286	-
2	50	60	3012	8
3	100	60	2710	17
4	140	60	2455	25
5	180	60	2175	33

debriyaj diski maksimum tork kapasitesine kadar frekans altında sıkıştırma testlerine tabi tutulmuştur. Elastomer damperli sistem 6.5° radyal sıkışma oranına kadar reaksiyon torku verirken, 6.5° sıkışma miktarından sonra debriyaj diskinde bulunan durdurma pinleri ile sıkışması önlenmiştir. Burulma dayanımı testinde damper sistemi sürüş tarafı ve motor freni olmak üzere iki bölge ve taraflı bir çalışma gerçekleştirmektedir. Şekil 17, 1 Hz frekans altında yapılan burulma dayanım testinde oluşan damper torku davranışlarını göstermektedir. Elde edilen sonuçlarda en büyük damper torku kaybının 20 bin çevrim sayısından sonra oluştuğu görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde damper torku kayıpları azalan ve daha kararlı bir hale geldiği görülmektedir. Tablo 2 grafik verileri her 20 bin çevrim sayısında oluşan damper torku kayıp oranlarını göstermektedir. 20 bin çevrim sayısından sonra damper 1964

torku kaybı %6 iken 80-100 bin çevrim ardından fonksiyonel ölçüm sonucunda damper torku kaybının %1 olduğu görülmektedir. 1 Hz altında yapılan testte her 20 bin ölçüm süresi 333 dakika sürmüştür.

Şekil 18, 3 Hz frekans altında yapılan burulma dayanımı testi sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar 1 Hz altında yapılan test ile benzerlik göstermektedir, fakat elastomer NBR kauçuğun rijitlik kaybının daha yüksek olmasından dolayı damper torku kayıplarının bu frekansta daha yüksek olduğu görülmektedir.

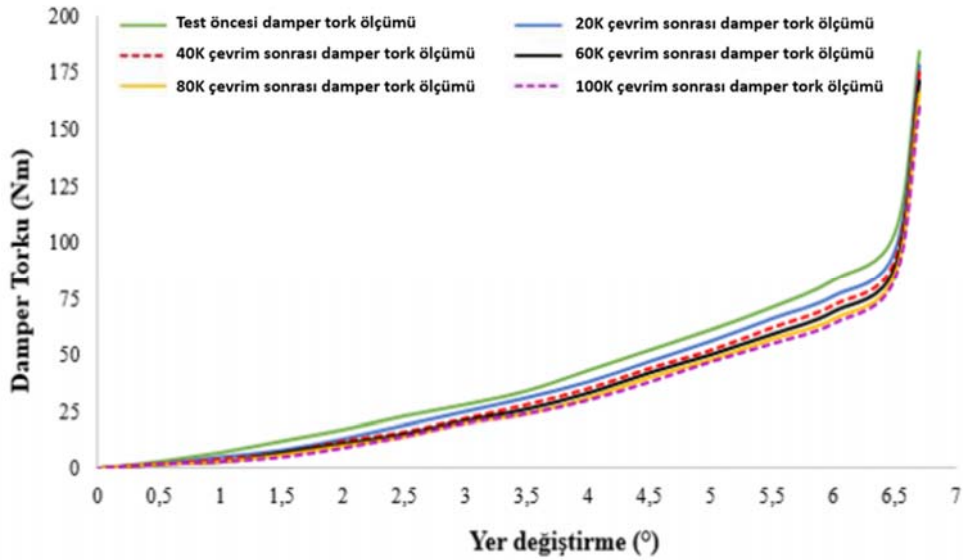
3 Hz frekans altında oluşan kaybın daha yüksek olması, frekansın yüksek olması sebebiyle malzeme iç yapısından dolayı ısınma miktarının ve histerisiz kaybının daha yüksek olduğu sonucunu çıkarmaktadır (Tablo 3). Oda sıcaklığında



Şekil 17. 1 Hz sıkıştırma frekansı altındaki damper tork eğrisi - Tork (Nm) & Yer değiştirme (Dynamic test under 1 Hz)

Tablo 2. 1 Hz Burulma dayanıklılık testi karşılaştırması (Comparisons of 1 Hz Torsional Endurance)

Test Çevrimi	Test Frekansı (Hz)	Ölçülen Maksimum Damper Torku (Nm)	20K Çevrimde Maksimum Damper Torku Kaybı (%)
Test Öncesi	-	106	-
20 bin	1	100	6
40 bin	1	96	4
60 bin	1	93	3
80 bin	1	91	2
100 bin	1	90	1



Şekil 18. 3 Hz sıkıştırma frekansı altındaki damper tork eğrisi - Tork (Nm) & Yer değiştirme (Dynamic test under 3 Hz)

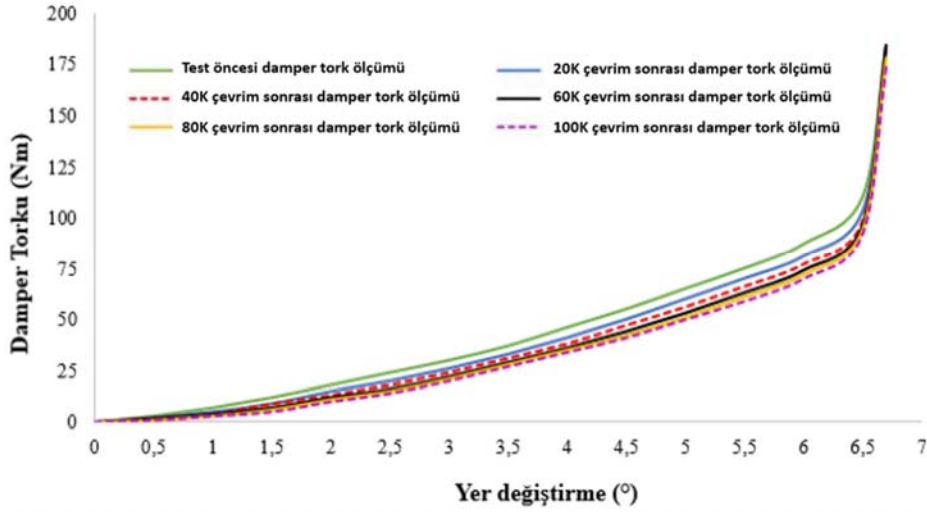
yapılan bu testlerde elastomer kauçuk yay malzemesi üzerinden termal lazer ölçüm makinası ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Alınan verilerde frekans arttıkça malzeme içerisinde ısı birikiminin arttığı ortaya çıkmıştır. Şekil 19, 6 Hz frekans altında yapılan burulma dayanımı testinin sonuçlarını vermektedir. Bu teste de ilk çevrim sayılarında

yüksek olan damper torku kayıplarının ilerleyen çevrimlerde düşerek daha kararlı bir yapıya kavuştuğu görülmektedir.

Tablo 4 'de gösterildiği gibi ilk 20K çevrimde damper torku kaybı %7 iken, son çevrimlere doğru düşerek daha kararlı bir kayıp oranına sahip olmuştur.

Tablo 3. 3 Hz Burulma dayanıklılık testi karşılaştırması (Comparisons of 3 Hz Torsional Endurance)

Test Çevrimi	Test Frekansı (Hz)	Ölçülen Maksimum Damper Torku (Nm)	20K Çevrimde Maksimum Damper Torku Kaybı (%)
Test Öncesi	-	104	-
20 bin	3	96	8
40 bin	3	92	4
60 bin	3	89	3
80 bin	3	86	3
100 bin	3	84	2

**Şekil 19.** 6 Hz sıkıştırma frekansı altındaki damper tork eğrisi - Tork (Nm) & Yer değiştirme (Dynamic test under 6 Hz)**Tablo 4.** 6 Hz Burulma dayanıklılık testi karşılaştırması (Comparisons of 6 Hz Torsional Endurance)

Test Çevrimi	Test Frekansı (Hz)	Ölçülen Maksimum Damper Torku (Nm)	20K Çevrimde Maksimum Damper Torku Kaybı (%)
Test Öncesi	-	110	-
20 bin	6	103	7
40 bin	6	98	5
60 bin	6	96	2
80 bin	6	94	2
100 bin	6	92	2

Şekil 20 'de 3 farklı frekans için damper torku kayıpları aynı grafikte verilmiştir. Damper torku kayıplarındaki karakterin benzer olduğu görülmektedir. Araç kullanımında elastomer yayın rijitliğindeki düşüş ilk kilometrelerde fazla olurken, ilerleyen süreçte kayıp oranı azalarak düşmeye devam edecektir. Fonksiyonel testler sonrasında demontaj edilen ve parçalarına ayrılan elastomer yaylı disk kompleksinde test öncesi ve sonrası elastomer yay boyu ile ilgili incelemeler de yapılmıştır. Tablo 5, 1 Hz, 3 Hz ve 6 Hz oda sıcaklığında test edilen debriyaj disklerinden alınan numuneye ait test öncesi ve sonrası ölçülerdir. Boy kaybı metal yaylarda ihmal edilebilirken, elastomer bazlı maddelerin kullanıldığı sönümleyicilerde mutlaka dikkate alınmalıdır.

Tablo 5. Tezgah testleri sonrasında elastomer yay boy kaybı değerleri karşılaştırması (Elastomer spring length loss comparison after functional bench tests)

Test Numunesi	Test Öncesi Boy uzunluğu (mm)	Test Sonrası Boy uzunluğu (mm)
1 Hz 100K çevrim	18,82	18,24
3 Hz 100K çevrim	18,86	18,14
6 Hz 100K çevrim	18,77	17,98

3.4. Sıcaklık Altında Elastomer Damper Davranışlarının İncelenmesi (Investigation the Behavior of Elastomer Damper under Thermal Condition)

Bu bölüm elastomer NBR kauçuk yaylı ve metal yaylı debriyaj diski komplelerinin fırın testi sonrasında soğuma davranışlarının elastomer ve metalik yay üzerinde karşılaştırmalarını anlatmaktadır. Çelik bazlı malzemeler kauçuk esaslı malzemelerle karşılaştırıldığında düşük özgül ısıya (c) sahiptir. Bu sayede metal malzemelerde elastomer esaslı malzemelere kıyasla sıcaklıklarında daha hızlı artış ve azalmanın oluşmasına imkan tanımaktadır. Bunun tersine, elastomer esaslı malzemelerde sıcaklıkların artış ve azalışı daha yavaş olmaktadır. Çeşitli sıcaklıklarda damper tork ölçümleri, sürüş koşullarında elastomer damperin rijitlik davranışlarını kanıtlar. Çünkü debriyaj muhafazası günlük araç sürüş koşullarından dolayı belirsiz bir sıcaklık seviyesine sahiptir. Fırın testlerinin ardından soğuma süresince elastomer metalik yaylı debriyaj diskinde damper torku ölçümü belirli aralıklara yapılmıştır. Şekil 21 100°C sıcaklıkta 60 dakika bekleyen elastomer yaylı debriyaj diskinin belirli sürelerle alınan fonksiyonel damper torku ölçümlerini göstermektedir. Bu grafikte elastomer yaydaki rijitlik düşümlerinin daha orantılı ve eşit olduğu görülmektedir.

Şekil 22 ve 23 'de sıcaklık artışı ile birlikte rijitlik düşümleri daha net görülmektedir. Fırın testinden hemen sonra damper torku rijitliği düşümü fırın testi öncesine göre belirgin şekilde görülmektedir. Bu sonuçlar, debriyaj muafazası

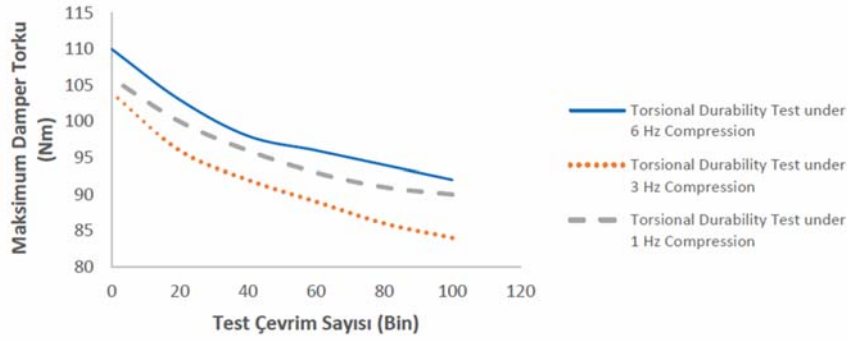
ısladıkça rijitlikte meydana gelen düşme sonucu, torkun aktarılamaması ve yayın sürekli blok boyda çalışması sonucunda malzemede patlama, yırtılma gibi durumların oluşabileceğini göstermektedir.

Tablo 6 fırın testi öncesinde ve sonrasında üç farklı sıcaklıkta yapılan fırın testlerinde debriyaj diskinde meydana gelen damper tork kayıplarını göstermektedir. Kayıp oranlarının beklendiği gibi sıcaklık ile doğru orantılı arttığı görülmektedir.

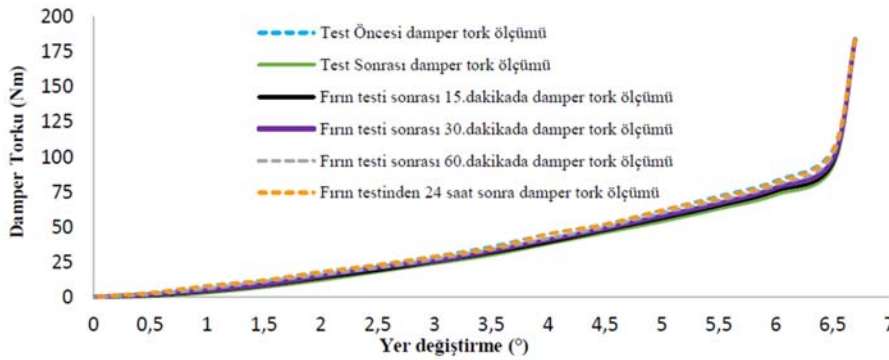
Şekil 24, soğuma ile birlikte damper torkunun artışı 3 farklı sıcaklık için göstermektedir. Soğuma ile birlikte rijitliğin belirgin şekilde arttığı ve damper torklarının fırın testinden önceki ilk hallerine yaklaştığı görülmektedir. Rijitlik seviyesi test öncesi durumuna çok yaklaşmakla birlikte fiziksel deformasyonlardan dolayı test öncesi seviyesine gelemeyebilir. Fırın testinden hemen sonra ilk dakikalarda soğuma ile birlikte hızlı rijitlik artışı grafiklerde görülmektedir. 15-20 dakikalık bir sürenin ardından damper tork seviyelerindeki artışın yavaşladığı ve kararlı bir hale geldiği görülmektedir.

3.5. Sıcaklık Altında Burulma Dayanımı Testi (The Torsional Endurance Test under Thermal Condition)

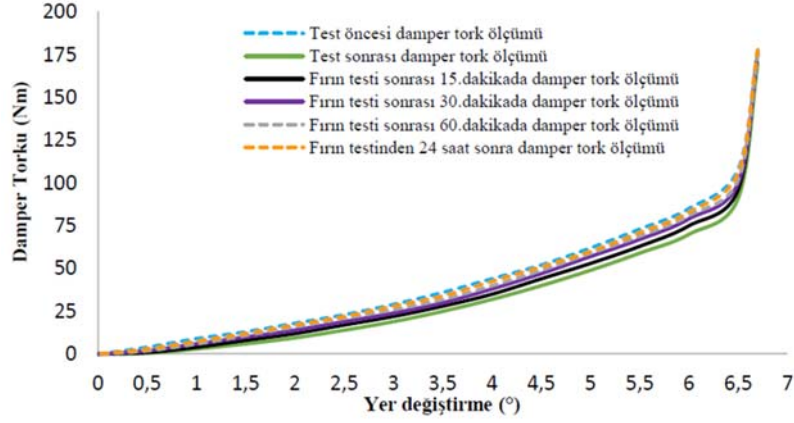
Bu bölümde, 140°C 'de sabit sıcaklık altında debriyaj damperi diskine burulma dayanımı testi yapılmıştır. Testin amacı gerçek sürüş koşullarında elastomer damperlerin rijitlik kaybı davranışının gözlemlenmesidir. Test, 6 Hz



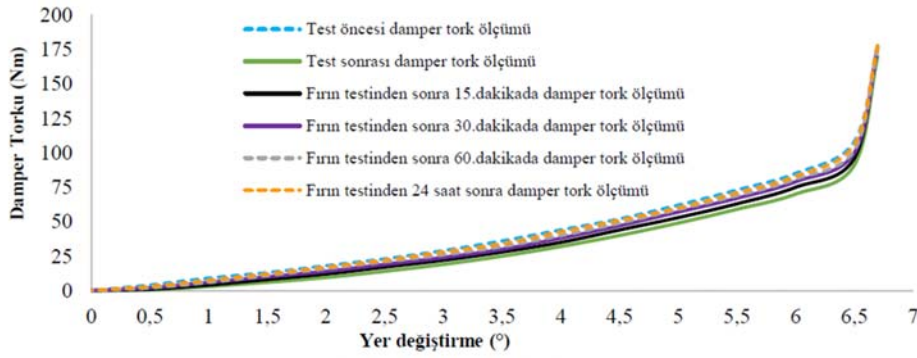
Şekil 20. Burulma dayanımı testinde maksimum damper torku kayıp grafiği (The Graph of comparative damper torque loss)



Şekil 21. Kauçuk yaylı debriyaj diski için damper tork eğrisi - 100°C fırın testinde 60 dakika (Damper torque curve 100°C 60 minutes furnace test)



Şekil 22. Kauçuk yaylı debriyaj diski için damper tork eğrisi - 140 °C fırın testinde 60 dakika (Damper torque curve 140°C 60 minutes furnace test)



Şekil 23. Kauçuk yaylı debriyaj diski için damper tork eğrisi - 180°C fırın testinde 60 dakika (Damper torque curve 180°C 60 minutes furnace test)

Tablo 6. Farklı sıcaklıklarda fırın testi sonrasında damper torku karşılaştırmaları (Damper torque comparison after furnace tests at various temperatures)

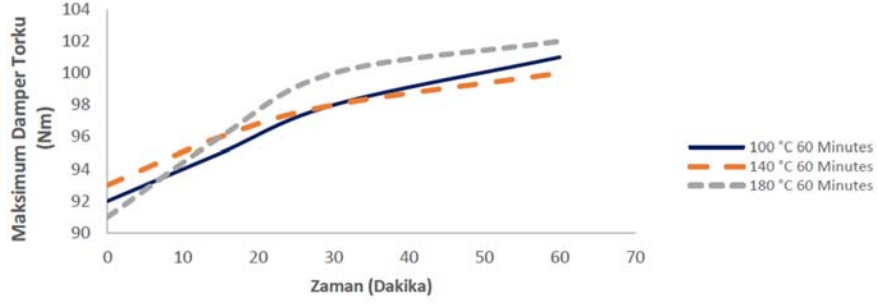
Numune	Sıcaklık (°C)	Süre (Dakika)	Fırın Testi Öncesi Maksimum Damper Torku (Nm)	Fırın Testi Sonrası Maksimum Damper (Nm)	Maksimum Damper Torku Kaybı (%)
1	100	60	105	93	11%
2	140	60	106	92	13%
3	180	60	108	91	16%

sıkıştırma frekansında gerçekleştirilmiştir ve her 20 bin test çevriminden sonra damper torku ölçülmüştür. Toplam 100 bin çevrim tamamlanmış ve tork karakteristikleri Şekil 25 'de açıklanmıştır.

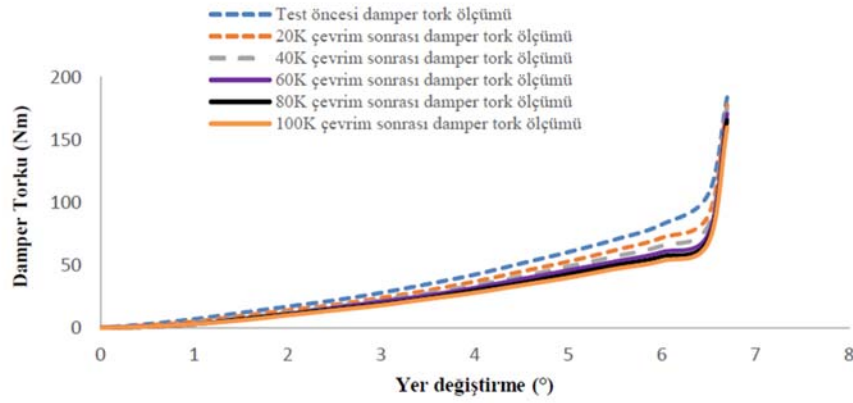
Tablo 7, 140°C altında 6 Hz frekansiyel burulma testinde debriyaj damper torkunun gösterdiği davranışları göstermektedir. Her 20 bin çevrim sayısında damper torku ölçülmüş ve fonksiyonel kayıplar belirlenmiştir. Elde edilen grafiklerde test çevrim sayısı arttıkça elastomer malzemenin kararlı hale gelerek damper torku kayıplarının azaldığı görülmektedir. 20 bin çevrime kadar damper torkunda ilk duruma göre %16 kayıp meydana gelirken, 80-100 bin arasında bu kayıp oranı %4 değerine kadar düşmüştür. Bu

sonuçların ilk bölümlerde açıklanan elastomer malzemelere özgü Mullin etkisi ile de orantılı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda, teste devam edilmesi durumunda damper torku kayıp oranlarının daha da azalacağı öngörülmektedir. Bu sonuçlar, debriyaj sistemleri için elastomer yay tasarımında yüksek güvenlik faktörü gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Şekil 26, metal yaylı debriyaj damperi diskinin burulma dayanım testine aittir. Tekil metal yay testinde görüldüğü gibi, debriyaj damperi tork seviyesi kauçuk dampere kıyasla minimum rijitlik kaybı gösterir. Bu sonuçlar termal yükler dahil olmak üzere çeşitli dinamik yükler altında metalik yay rijitlik seviyesinin kararlılığını açıklamaktadır (Tablo 8).



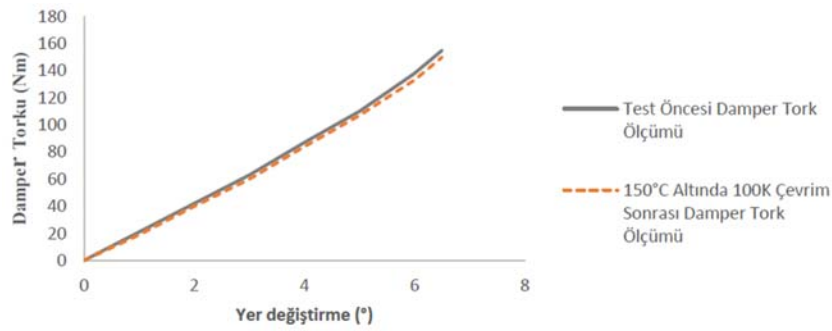
Şekil 24. Deneysel test sonrası damper torku davranışının karşılaştırılması
(Damper torque behavior comparison after experimental tests)



Şekil 25. Kauçuk yaylı debriyaj diski için damper tork eğrisi - 100K çevrimi sırasında 140°C sıcaklıkta burulma dayanım testi (Damper torque curve during 100K cycle at 140°C)

Tablo 7. 140°C sıcaklık altında 6 Hz Burulma testi (6 Hz Torsional Endurance Test at 140°C)

Test Çevrimi	Test Frekansı (Hz)	Test Süresi (Dakika)	Test Tezgağı ortam sıcaklığı (°C)	Ölçülen Maksimum Damper Torku (Nm)	Maksimum Damper Torku Kayıp Oranı (%)
Test Öncesi	-	-	107	-	-
20 bin	6	55	140	90	16
40 bin	6	55	140	82	9
60 bin	6	55	140	75	8
80 bin	6	55	140	71	5
100 bin	6	55	140	68	4



Şekil 26. 100K devirlerde 150°C sıcaklık altında burulma dayanım testi - Metal yaylı debriyaj diski için damper tork eğrisi (Metalic spring Torsional Endurance Test at 150°C after 100K cycle)

Tablo 8. Metal yaylı debriyaj damper diski için ısı altında bası testi (Compression test of Metallic Spring Under Heat)

Test Çevrimi	Test Frekansı (Hz)	Test Süresi (Dakika)	Test tezgahı sıcaklık değeri (°C)	Ölçülen Maksimum Damper Torku değeri (Nm)	Maksimum Damper Torku kayıp değeri (%)
Test öncesi	-	-	-	155	-
100K	4	417	150	149	3,8

Tablo 9. Elastomer damper yaylı debriyaj sistemlerinin avantaj ve dezavantajları (Advantages vs. Disadvantages of clutch damper disc with elastomer spring)

Avantajları	Dezavantajları
Fiyat olarak metal yaylara göre daha uygundur	Farklı frekansta titreşimler altında viskoelastik özelliğinden dolayı farklı rijitlik davranışı göstererek tahmin edilmesi zor araç konforuna yol açar
Metal-Metal sürtünmesi olmaması sayesinde daha sessiz çalışır	Araç kullanım koşullarında damper yayı rijitlik değeri kaybı daha çok olması sebebiyle yüksek güvenlik faktörü ile çalışılmasını gerektirir
Metal yaylarda Metal-Metal sürtünmesinden dolayı ortaya çıkan aşınma, kırılma vb. durumların oluşma ihtimali ortadan kalkmaktadır (testler sonrasında görsel kontroller yapılmıştır)	Farklı sıcaklıklarda malzeme yapısı değişkenliği metallere göre fazladır
Vites geçişlerinde düşük özgül ağırlık sayesinde daha sessiz ve kolay vites geçişine imkan sağlar (Çalışmada kullanılan elastomer yay metal yaya göre 7 kat daha düşük özgül ağırlığa sahiptir)	Ürün ömrü elastomer malzeme reçetesine göre yüksek oranda değişkenlik gösterebilir

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada elastomer damper yay tasarımı ve doğrulanması otomobil kavrama sistemlerinde karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, otomobilde elastomer yaylı debriyaj sistemlerinin kullanımı belirli çevrimlerde ve çeşitli frekanslar altında yaylardaki frekansiyel bası durumu ile temsil eden burulma dayanımı testi sayesinde oda sıcaklığında ve değişken yüksek sıcaklıklar altında test edilerek elastomer yayların davranışları modellenmiştir. Literatürde bu alanda ilk defa incelenen elastomer debriyaj damperine ait ürün ve sistem bazlı çalışmalar sayesinde, bu çalışma için ve gelecek çalışmalar için özgün bir yöntem ortaya konmuştur. Deneysel trafik testlerinde debriyaj muhafazası sıcaklığının 140°C seviyelerinde sıcaklık değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu sıcaklık derecesinde fonksiyonel bench testlerinde görüldüğü gibi sıcaklığın elastomer malzemelerin zaman içerisinde iç kararlılığın azalmasına, polimer zincirlerinin hasar görmesine ve viskoelastik özellikten dolayı dinamik koşullara yeterlilik gösterememesine sebep olduğu görülmüştür. NBR elastomer kauçuk malzemenin 140°C sıcaklıkta ve 6 Hz frekans altında yapılan burulma dayanımı testlerinde 100 bin çevrime kadar metallere göre rijitliğinde yaklaşık 10 kata kadar daha fazla kayıpların gözlemlendiği görülmüştür. Bu nedenle, debriyaj sistemleri için yapılacak tasarım ve kullanılacak malzemede rijitliğin sürdürülebilirliği takviye ve koruyucu elastomer reçeteleri ile sağlanmalıdır. Oda sıcaklığında yapılan frekansiyel burulma yorulması testlerinde NBR elastomer yay kullanılan elastomer damper diskinde malzemenin 100 bin çevrim

değerlerine kadar damper torklarında ortalama %15 seviyelerinde kayıp yaşandığı görülmüştür. Fonksiyonel testlerde elastomer damperli disk kompleksine uygulanan testlerde oda sıcaklığında frekansiyel testlerde güvenli tasarım için en az 1.2 güvenlik katsayısı ile çalışılması gerektiği görülmüştür. Sıcaklık altında yapılan frekansiyel fonksiyonel testlerde ise 140°C ve 6 Hz test frekansı ile en kötü kullanım şartları temsil edilmiştir ve bu şartlarda güvenli tasarımı koruyabilmek için aktarılabılır motor torkunun en az 1.6 katı güvenlik katsayısı ile çalışılması gerekliliği ortaya konmuştur. Elde edilen bu veriler ile beklenen ortalama kullanım koşulları için güvenlik faktörü katsayısının 1.4 alınmasının gerekliliği ortaya konularak çalışmasına konu olan elastomer damper tasarımı için aktarılabılır motor torkunun 1.4 katı güvenlik katsayısı olarak dikkate alınmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel test sonuçlarının da katkısı ile otomobil debriyajlarında elastomer yaylı disk damperi kullanımında oluşacak genel avantaj ve dezavantajlar özet olarak Tablo 9 'da belirtilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Jadhav, N., Bahulikar, S.R., Sapate, N.H., Comparative Study of Variation of Mooney-Rivlin Hyperelastic Material Models under Uniaxial Tensile Loading, International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education, 2 (4), 212-216, 2016.
2. Wu, Y., Wang, H., Li, A., Parameter Identification Methods for Hyperelastic and Hyper-Viscoelastic Models, Applied Science, 6 (12), 1-13, 2016.

3. Mohammed, M.A., Visco-Hyperelastic Model for Soft Rubber-like Materials, *Sains Malaysiana*, 43 (3), 451–457, 2014.
4. Kumar, N., Rao, V., Hyperelastic Mooney-Rivlin Model: Determination and Physical Interpretation of Material Constants, *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 6 (1), 43-46, 2014.
5. Kottapalli, S., Bauchau, O. A., Ju, C., Ozbay, S., Mehrotra, Y., Analytical First Principles Modeling Of Elastomer Dampers, *Aeromechanics Specialists Conference-Techport Online NASA*, Maryland, USA, 1-15, 2010.
6. Sause, R., Lee, K. S., Ricles, J., Rate-Independent and Rate-Dependent Models for Hysteretic Behavior of Elastomers, *Journal of Engineering Mechanics*, 133 (11), 1-9, 2007.
7. Marvalova, B., Viscoelastic Properties of Filled Rubber: Experimental Observation and Material Modelling, *Engineering Mechanics*, 14 (2), 81–89, 2007.
8. Melnik, R.V.N, Strunin, D.V., Roberts, A.J., Nonlinear Analysis Of Rubber-Based Polymeric Materials With Thermal Relaxation Models, Numerical Heat Transfer Applications, 47 (6), 549–569, 2005.
9. Pacheco, J. L., Bavastri, C.A., Pereira, J.T., Viscoelastic Relaxation Modulus Characterization Using Prony Series, *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12 (2), 420-445, 2015.
10. Monsia, M. D., A Simplified Nonlinear Generalized Maxwell Model for Predicting the Time Dependent Behavior of Viscoelastic Materials, *World Journal of Mechanics*, 1 (3), 158-167, 2011.
11. Genç, M. O., Budak, B., Kaya, N., Modelling and Vibration Analysis of Powertrain Systems. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 2 (1), 17-25, 2018.
12. Oktav A., Yılmaz Ç., Anlaş G., Improvement of low frequency booming problem in automobiles using tuned mass, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2), 891-903, 2019.
13. Genç, M. O., Kaya, N., Konakci, S., Experimental Verification of Rubber Clutch Spring Damper Torque Behavior in Time-Dependent Manner and System Optimization using Simulated Annealing Algorithm Integrated with 1-D Modeling, *ASME IMECE 2019*, Utah, USA, <https://doi.org/10.1115/IMECE2019-10965>, 2019.
14. Köylü H., Modeling of fuel consumption for gear shifting: Analysis of the effects of gear shifting strategies on fuel consumption, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 627-643, 2017.
15. Genç, M. O., Kaya, N., Modelling and Experimental Investigation of Clutch Damper Spring Stiffness on Truck Driving Comfort, *International Journal of Advances on Automotive and Technology*, 2 (2), 121-136, 2018.
16. Koblar, D., Škofic, J., Boltežar, M., Evaluation of the Young's Modulus of Rubber-Like Materials Bonded to Rigid Surfaces with Respect to Poisson's Ratio, *Journal of Mechanical Engineering*, 60 (7), 506-511, 2014.
17. Sikora, W., Michalczyk, Machniewicz, T., A Study of the Preload Force in Metal-Elastomer Torsion Springs, *Automotive Mechanic Journal*, 4 (2), 300-305, 2016.
18. Adamowicz, A., Effect of Convective Cooling on Temperature and Thermal Stresses in Disk during Repeated Intermittent Braking, *Journal of Friction and Wear*, 37 (2), 107-112, 2016.
19. Zhang, Z., Zhang, H., Viscoelastic Parameter Identification based Structure-Thermal Analysis of Rubber Bushing, *Global Journals of Research in Engineering*, 14 (3), 1-13, 2014.
20. Bani, M. S., Stamenkovi, D.S., Miltenovi, V.D., Milosevi, M.S., Miltenovi, A.V., Djeki, P.S., Rackov, M.J., Prediction Of Heat Generation In Rubber Or Rubber-Metal Springs, *Thermal Science*, 16 (2), 527-539, 2012.
21. Altın M., Investigation of performances of energy absorbing profiles having different geometries under oblique loads, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (3), 1517-1525, 2019.

