

## ARAÇLARDA KULLANILAN STABİLİZER ROTLARIN DAYANIMINA KÜRESEL MAFSAL BOŞLUĞUNUN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

<sup>1</sup>Emin Gürcan GÜREL, <sup>2</sup>Mete KALYONCU

<sup>1</sup>Aydınlar Yedek Parça Ar-ge Merkezi, KONYA

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KONYA

<sup>1</sup>emingurcangurel@hotmail.com, <sup>2</sup>mkalyoncu@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 30.04.2015 ; Kabul/Accepted in Revised Form: 10.08.2015 )

**ÖZET:** Araçlardaki süspansiyon sistemlerinin bir parçası olan stabilizer rotlar; denge çubuğu ile birlikte aracın sağa ve sola dönmesi sırasında oluşan kuvvetleri dengeleyerek, aracın yan yatmasını engellemektedir. İki ucu küresel mafsaldan meydana gelen stabilizer rotlar, rot eksenine dik yöndeki kuvvetleri taşıyabilmektedir. Güvenlik açısından kritik önem taşıyan bu parçaların dinamik yükler altında çalışma performansı ve dayanımı önemlidir. Bu çalışmada, çalışma performansı kriterlerinden birisi olan küresel mafsal boşluğunun, stabilizer rotların dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Bunu gerçekleştirebilmek için stabilizer rotlara araç altındaki çalışma koşullarında etki eden yüklerin belirlenebilmesi amacıyla veri toplama çalışmaları yapılmış, stabilizer rotun gerilme değerleri ölçülmüştür. Toplanan veriler üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak stabilizer rota etki eden yükler belirlenmiştir. Belirlenen yükler, test cihazında farklı mafsal boşluk değerlerine sahip stabilizer rotlara uygulanmış ve stabilizer rotlar son dayanım noktalarına kadar test edilmiştir. Yapılan deneysel doğrulama çalışmaları ve elde edilen test sonuçları incelenerek, küresel mafsaldaki boşluğun stabilizer rot dayanımı üzerine olan etkisi belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Boşluk, Küresel Mafsal, Stabilizer Rot, Süspansiyon Sistemi, Veri Toplama, Yol verisi.

### Investigation of Ball Joint Clearance Effects on Stabilizer Rods Strength

**ABSTRACT:** Stabilizer rods which component of the vehicle suspension system; balancing the forces generated during vehicle's rotation left and right prevents the vehicle's pitching with stabilizer bars. Stabilizer rod occurring ball joints at both ends and can be loaded link axis direction. These parts operating performance and strength is important under dynamic loads has a role for the safety-critical. In this paper, the impact of one of the operating performance criteria of the ball joint clearances on the strength of the stabilizer rod is investigated. For this purpose, data acquisition studies have been carried on the vehicle to determine the stabilizer bar's stress values. These collected data processed and loads affected to stabilizer rods generated. Stabilizer rods with different clearances have been tested with these loads and they have been tested until last strength point. The experimental validation studies and examining the test results obtained, the impact of the clearances on the stabilizer rod strength is specified.

**Key Words:** Clearance, Ball Joint, Stabilizer Rod, Suspension System, Data Acquisition, Road Load Data.

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karayolu binek araçları süspansiyon sistemleri bileşenlerinden bir tanesi olan stabilizer rotlar, iki ucunda bulunan farklı tiplerdeki mafsallar ile denge çubuğu ve tekerlek taşıyıcısı (bazı sistemlerde salıncak kolu) arasına bağlanmaktadır. Stabilizer rotlar; araçların kendi ağırlıklarından dolayı sahip oldukları atalet kuvvetlerinin, aracın sağa-sola dönmesi ve bir tekerleğe yük gelirken diğer tekere yük gelmediği durumlarda ivmelenmenin etkisiyle oluşturduğu yükleri denge çubuğuyla beraber çalışarak oluşan yükün ters tarafında dengelemektedir.[1]

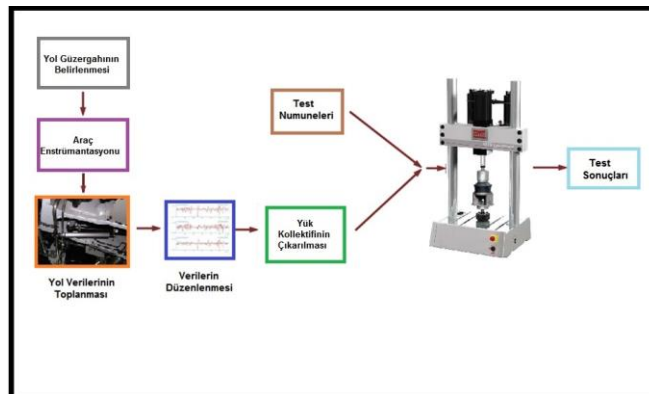
Araç güvenliğinin sürdürülebilir olması için süspansiyon sistemi elemanlarının etkin servis ömrünün belirlenebilmesi ve bu elemanlarda geliştirmelerin yapılması yüksek önem taşımaktadır. Stabilizer rotların iki ucunda bulunan küresel mafsallar, parçanın etkin servis ömrünü belirleyen bileşenidir. Küresel saplama ve küresel yatak arasında, eksi toleranslardan dolayı oluşan boşluk küresel mafsalin darbeli olarak çalışabilmesine; artı toleranslardan oluşması da küresel mafsalin sıkı geçerek aşınabilmesine sebep olmaktadır. Tüm bu durumlar küresel mafsalların işlevlerini yerine getirememesine, dolayısıyla stabilizer rotların servis ömrünü yitirmesine ve kritik önem taşıyan parçalarda tehlike oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle stabilizer rotlarda etkin çalışma ömrünü etkileyen önemli faktörlerden biri küresel mafsallardaki bulunan boşluklardır.[2] Daha önce yapılan çalışmalarda farklı boşluk değerlerine sahip mafsalların kullanıldığı mekanizmalar incelenerek, bu boşluğun mekanizmanın kinematiğine olumsuz etkiler oluşturduğu görülmüştür.[3-11]

Son yıllarda otomotiv firmaları arasında artan rekabet dolayısıyla yapılan çalışmalarda maliyet ve zamanın azaltılması yönündeki çalışmaların artmasına neden olmuştur. Otomotiv sistemi parça ve bileşenlerinin etkin çalışma ömürlerinin tespiti için literatürde farklı yöntemler bulunmaktadır.[17] Bunlardan en yaygın olarak kullanılan laboratuvar testleri, parçaların işletme şartlarında hidrolik sarsıcılar ile test edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu testlerin yapılması için gerekli olan işletme şartları ise parçaya etki eden yol yük verilerinin ölçülmesiyle yapılan çalışmalar ile gerçekleştirilmektedir.[12-17]

Bu çalışmada, stabilizer rotlarda kullanılan küresel mafsallardaki farklı tolerans boşluklarının; stabilizer rot çalışma ömrüne etkileri incelenmiştir. Bu amaçla karayolu binek araçlarında stabilizer rotlar üzerinden veri toplama çalışmaları yapılarak rot üzerine etki eden yüklemeler belirlenmiştir. Bu yüklemeler ile dinamik test cihazında farklı toleranslara sahip stabilizer rotlar son dayanım noktasına kadar test edilerek; boşluğun stabilizer rot dayanımına olan etkisi belirlenmiştir.

## YÖNTEM (METHOD)

Yapılan çalışmada küresel mafsal boşluğunun stabilizer rot dayanımına olan etkisinin belirlenmesi için laboratuvar ortamında hidrolik sarsıcılarda testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerin yapılması için gerekli olan işletme şartları, yol verileri toplanarak LMS/Tecware yardımıyla oluşturulmuştur. Test sonuçlarına göre modelleme çalışmaları Matlab/Simulink kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada oluşturulan yöntem Şekil 1. 'de verilmiştir.



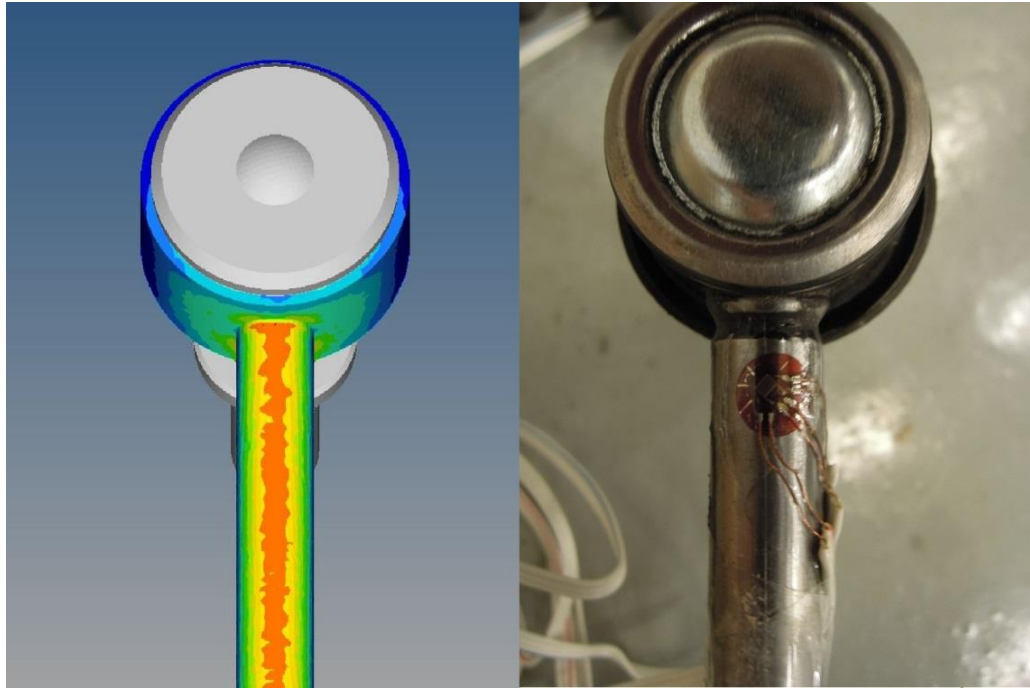
**Şekil 1.** Boşluk etkisinin belirlenmesi süreci**STABİLİZER ROT YÜKLEME ŞARTLARININ BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF STABILIZER ROD LOADING CONDITIONS)**

Farklı boşluk değerlerine sahip stabilizer rotların laboratuvar ortamındaki testleri, parçanın normal işletme şartlarında maruz kaldığı yükleme değerlerinin belirlenmesiyle oluşturulan test spektrumu ile yapılmalıdır. Bunun için araç altı veri toplama çalışmaları, toplanan verinin düzenlenmesi ve yükleme planı oluşturulması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

**A. Yol verisi toplama (Road Load Data)**

Stabilizer rotların testlerinin yapılacağı dinamik test cihazının çalışma şartlarında tahrik edilmesi amacıyla yol verisi toplanmıştır.

Yol verisi toplanması çalışmasında stabilizer rot üzerinde oluşan iç gerilmeleri bulmak için, çalışma anında malzeme yüzeyindeki birim uzama-şekil değiştirme değerlerini ölçen strain-gage algılayıcısı kullanılması hedeflenmiştir. Altair/Hypermesh sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak stabilizer rot modellenmiş ve çalışma şartları göz önünde bulundurularak sınır şartları belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucuyla stabilizer rot üzerine etki eden kritik gerilme bölgesi tespit edilmiştir. Belirlenen kritik gerilme bölgesine Kyowa marka 0°/45°/90° rozet tipi strain-gage bağlantısı gerçekleştirilerek stabilizer rot çubuğuna etki eden birim şekil değiştirme değerleri LMS/Scadas mobil veri toplama cihazıyla kaydedilmiştir. Veri toplama çalışmalarında binek araç kullanılmıştır.



**Şekil 2.** Sonlu elemanlar sonucu ve strain-gage algılayıcısının uygulanması



Şekil 3. Strain-gage bağlanmış parçanın araca bağlanması

Dinamik testlerin stabilizer rot gerçek çalışma şartlarını temsil edebilmesi için yol verisi, farklı zorlamalara maruz kalacak farklı yol tiplerinde toplanmıştır. Bu veriler daha sonra yapılacak şartlarda birleştirilerek, testlerde tekrarlı şekilde yüklenmeleri gerçekleştirilecektir.

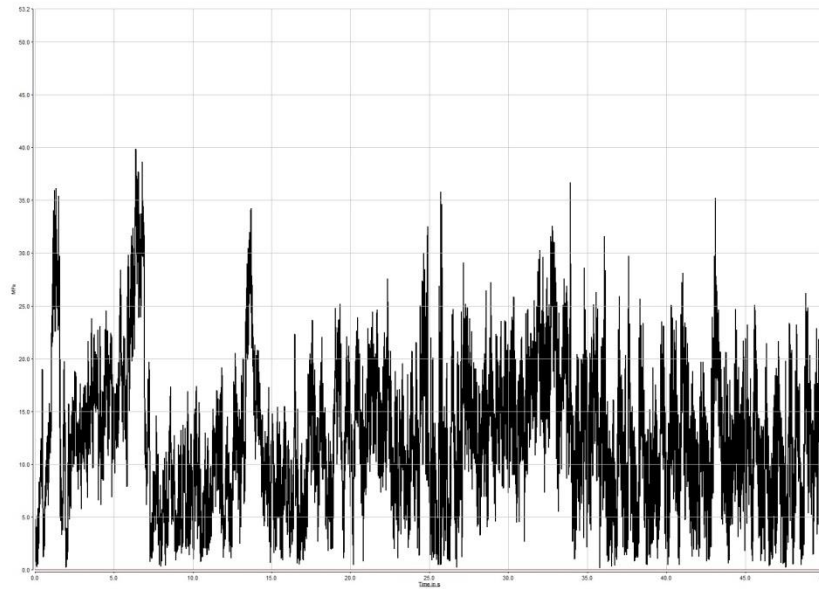


Şekil 4. Farklı zorlamaların sağlandığı yol tiplerinden örnekler

## B. Veri düzenleme ve yükleme planının oluşturulması (Data editing and loading determining)

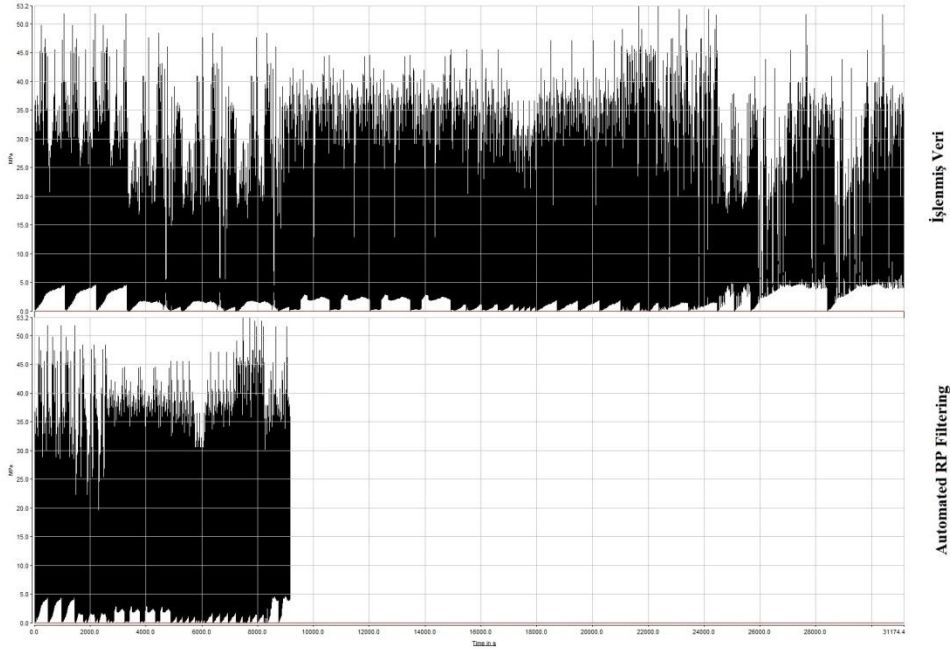
Farklı zorlanmaları ifade eden ve pasajlar halinde toplanan veriler Tecware ile birleştirilerek tek bir veri haline getirilmiştir. Bu işlem yapılırken veriler arasındaki farklılıklar göz önüne alınarak verilerin birleştirilmesi yapılmıştır.

Tek bir grafik haline getirilerek elde edilen ham veri laboratuvar ortamında testlerde kullanılabilmesi için düzenlenmesi gerekmektedir. Toplanan veriler dikkatlice incelenerek; verilerde sinyal kayması, sıfır hatası, sinyal zıplaması ve elektriksel sorunlar gibi hatalar olduğu görülmüştür. Tecware yazılımında bulunan spike removal, drift-ofset, filtering gibi seçenekler kullanılarak bu hataların bazıları düzeltilmiş bazıları da atılmıştır. Spike removal kullanılarak veri toplama sırasında meydana gelen gerçek dışı sinyal zıplamaları giderilmiştir. Drift-ofset ile oluşan sinyal kaymaları düzenlenmiştir. Elektriksel ve mekaniksel sebeplerle 50Hz üzerinde oluşan veriler de filtering işlemi uygulanarak atılmıştır. Bu işlemler sayesinde ham veri düzenlenerek sistemde kullanılabilir hale getirilmiştir.

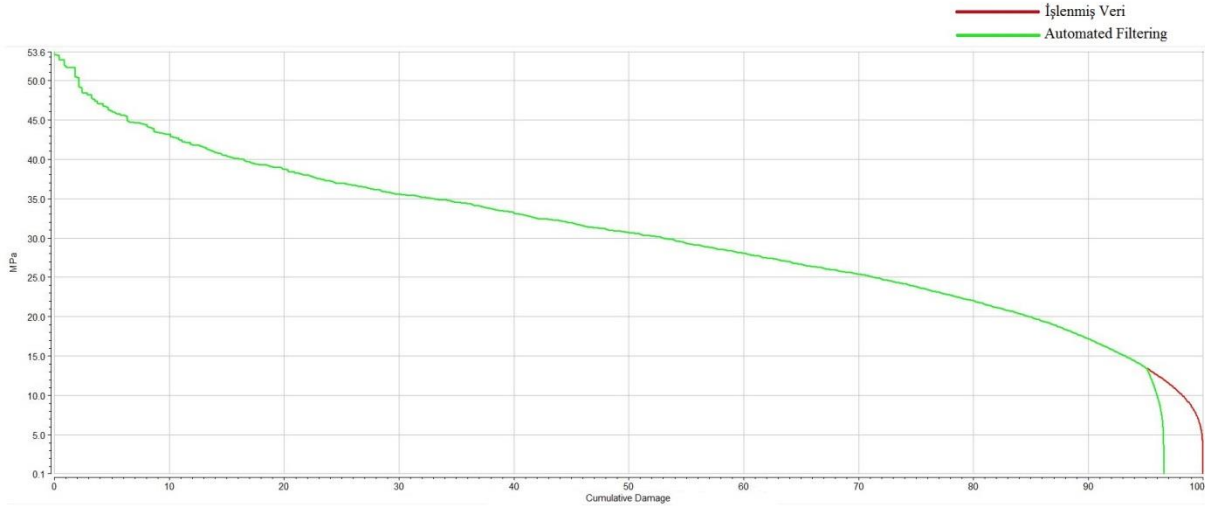


Şekil 5. Örnek veri grafiği

Sinyal hataları düzeltilen yol verisi laboratuvar ortamında hidrolik sarsıcıda direk çalmak için çok uzundur. Bu sebeple yol verisi toplam hasar potansiyelini değiştirmeyecek şekilde Tecware yazılımı ile kısaltılır ve yükleme planı oluşturulur. Bunun için Tecware de kullanılabilen iki yöntem vardır. Bu yöntemlerden birincisi olan RP PSD Filter, verinin belirlenen frekans aralığındaki enerji değerlerini düşürmeden, eşdeğer hasar potansiyeline sahip daha kısa süreli bir sinyal meydana getirir. Böylece veri içerisindeki hasara katkısı olmayan sinyaller temizlenmiş olmaktadır. İkinci yöntem olan Multiaxial RP Filtering ise, çok eksenli yüklemelerde bir eksenle hasar oluşturmayacak yüklemenin diğer eksenlerdeki yüklemenin de etkisi sonucu hasara neden olabilmesi durumu da göz önünde bulundurarak bir kısaltma işlem yapmaktadır. Özellikle frekans içeriğinin önemli olmadığı durumlarda daha yüksek bir zaman sıkışması sağlayan ikinci yöntem tercih edilerek, aynı hasar potansiyeline sahip çok daha kısa bir veri elde edilmiştir.(Şekil 6)



Şekil 6. İşlenmiş ve filtreleme ile kısaltılmış veri



Şekil 7. Kısaltılmış ve ham verinin hasar potansiyellerinin karşılaştırılması

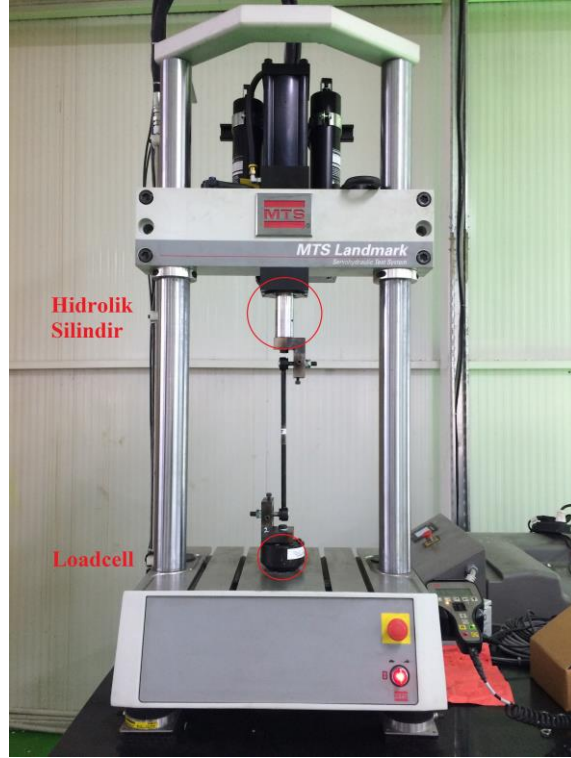
Kısaltılarak oluşturulan hızlandırılmış veri test cihazında uygulanması zor olan random sinyallerden oluşmaktadır. Test sisteminin bu özellikteki bir sinyali çalamamasından dolayı veri eşdeğer hasar potansiyelini sağlayacak 7 farklı genlikteki sinyalle dönüştürülmüştür. Bu işlem Tecware 'de bulunan Block Cycle Test Definition kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece tek eksenli değişken genlikli yükleme, test cihazında çalınabilecek 7 farklı sinüs sinyaline dönüştürülmüştür. Tüm bu işlemler sayesinde toplanan ham veriye yakın hasar potansiyeline sahip yükleme planı oluşturulmuştur.

#### DENEYSSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Farklı boşluk miktarına sahip stabilizer rotların çalışma ömrüne olan etkisinin incelenmesi için yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere 5 farklı boşluk değerine sahip mafsallı numunesi hazırlanmıştır. Buna göre mafsallar çok boşluklu, boşluklu, normal, sıkı ve çok sıkı olacak şekilde

gruplandırılmış ve sırasıyla -0.30, -0.15, 0.00, +0.10 ve +0.20 boşluk ve sıkılıklar sahip olacak şekilde oluşturulmuştur.

Farklı sıkılık ve boşluk değerlerine sahip olan stabilizer rotların hidrolik sarsıcıya bağlanması için gerekli olan bağlama aparatları tasarlanmıştır. Gerekli bağlantıların yapılmasıyla hazır duruma gelen test cihazı ile farklı stabilizer rotların testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Test sistemi ve stabilizer rotun bağlanması

Yapılan testlerde yol verisi ile oluşturulan yükleme planı uygulanmıştır. Farklı sıkılık ve boşluk değerine sahip beş numune grubundan üçer adet testler stabilizer rot küresel saplamalarından birinin kırılmasına kadar devam etmiş; saplamalardan biri kırılınca tamamlanmıştır.



Şekil 9. Testin sonunda kırılan numune örneği

Yapılan testlere göre her grubun dayanımının farklı olduğu tespit edilmiştir. Buna göre elde edilen test sonuçları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 1. Test sonuçları

Boşluk/Sıklık Miktarı	Kırılma Çevrimi	Ortalama Kırılma Çevrimi
+0,20 /1	5606	5656
+0,20 /2	5820	
+0,20 /3	5542	
+0,10 /1	6027	6129
+0,10 /2	6140	
+0,10 /3	6220	
0,00 /1	9250	9472
0,00 /2	9442	
0,00 /3	9724	
-0,15 /1	3824	3814
-0,15 /2	3840	
-0,15 /3	3378	
-0,30 /1	2350	2408
-0,30 /2	2688	
-0,30 /3	2186	

## SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Yapılan test sonuçlarına göre küresel mafsallarda bulunan boşluk ve sıklığın; stabilizer rot dayanımına etki ettiği görülmüştür. Buna göre boşluksuz küresel mafsalı olan stabilizer rot ortalama 9472 çevrim dayanmaktadır. +0,20 sıklığa sahip stabilizer rotun dayanımının boşluksuz olandan %40,3; +0,10 sıklığa sahip stabilizer rotun dayanımının boşluksuz olandan %35,3; -0,15 boşluğa sahip stabilizer rotun dayanımının boşluksuz olandan %59,7; -0,30 boşluğa sahip stabilizer rotun dayanımının boşluksuz olandan %74,6 daha az olduğu görülmüştür. Stabilizer rot küresel mafsallarının küresel saplaması ve plastik yatağı arasındaki boşluk ve sıklığın stabilizer rotun çalışmasını etkilediği ve beklenenden daha kısa sürede dayanımını yitirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 10. Test sonuçlarına göre farklı çaptaki kürelerin kırılma çevrimlerini gösteren grafik



**TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)**

Bu çalışmayı San-Tez Programı kapsamında destekleyen Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına ve proje ortağı olan Aydınlar Yedek Parça San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz. Ayrıca bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli yardımlarını esirgemeyen Aydınlar Yedek Parça San. ve Tic. A.Ş. çalışanları Mehmet Ali GÜVENÇ, Seracettin AKDI ve Ahmet ÇAKAL'a teşekkürü bir borç biliriz.

Bu makale Emin Gürçan GÜREL'in yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Heissing B., Ersoy M., "Chassis Handbook", 1st Edition, Germany, 2011.
- Erkaya S., "Eklem Boşluklu Mekanizmalar İçin Gürbüz Tasarım Yaklaşımları", Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, 2009.
- Mishra R., Naskar T.K., Acharya S., "Synthesis of coupler curve of a four bar linkage with joint clearances", International Journal of Engineering Research and Applications, 2013.
- Sharf O.M.A., Smith M.R., "A simple method for the allocation of appropriate tolerances and clearances in linkage mechanisms", Mechanism and Machine Theory Vol. 18, 1982.
- Flores P., Ambrosio J., Claro, Lankarini H.M., Koshy C.S., "A study on Dynamics of mechanical systems including joints with clearance and lubrication", Mechanism and Machine Theory 41, 2006.
- Parenti-Castelli V., Venanzi S., "Clearance influence analysis on mechanisms", Mechanism and Machine Theory 40, 2005.
- Grant S.J., Fawcett J.N., "Effects of clearance at the coupler-rocker bearing of a 4 bar linkage", Mechanism and Machine Theory 14, 1977.
- Schwab A.L., Meijaard J.P., Meijers P., "A comparison of revolute joint clearance models in the dynamic analysis of rigid and elastic mechanical systems", Mechanism and Machine Theory 37, 2002.
- Rhee J., Akay A., "Dynamic response of a revolute joint with clearance", Mechanism Machine Theory Vol. 31, 1996.
- Flores P., "Modeling and simulation of wear in revolute joints in multibody systems, Mechanism and Machine Theory 44 1211-1222, 2009.
- ZhengFeng B., Yang Z., XingGui W., "Wear analysis of revolute joints with clearance in multibody systems", Science China Press and Springer Vol. 56 1581-1590, 2013.
- Zhao L-H., Zheng S.L., Feng J.Z., "Failure mode analysis of torsion beam rear suspension under service conditions", Engineering Failure Analysis 36 (2014) 39-48, 2013.
- Shafiullah A.K.M., Wu C.Q., "Generation and validation of loading profiles for highly accelerated durability tests of ground vehicle components", Engineering Failure Analysis 33 (2013) 1-6, 2013.
- Azrulhislam E., Asri Y.M., Dzurai A.W., Nik Abdullah N.M., Hassan C.H., Shahrom A., "Application of road simulator service loads in automotive component durability assessment", The Open Industrial & Manufacturing Engineering Journal, 2011, 4, 1-7, 2011.
- Yay K., Ereke M., "Hızlandırılmış ömür testlerinde yol verisi kullanımına yeni bir yaklaşım", ITU Dergisi, 2, 5, 61-73, 2003.
- Lin K-Y., Hwang J-R., Chang J-M., "Accelerated durability assessment of motorcycle components in real-time simulation testing", Journal of Automobile Engineering, 224(2):245-259, 2010.
- Toprak, M., Ereke, M., "Ticari Taşıt Akslarının Dayanım Testlerinde Kullanılacak Yüklerin Müşteri Çevrimindeki Taşıtların Ölçümlerinden Elde Edilmesi," Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 651, s. 26-42, 2014.