



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Kauçuk hava süspansiyon körüklerinin üretim yöntemi ve yorulma ömrünün ürün kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi

Determination of the effect of the manufacturing style and fatigue life of the rubber air suspension bellows on product quality

Yazar(lar) (Author(s)): Emre TURNA¹, Fırat KAFKAS², Ulvi ŞEKER³, H. Serdar YÜCESU⁴

ORCID¹: 0000-0002-7239-3902

ORCID²: 0000-0003-3257-7413

ORCID³: 0000-0001-6455-6858

ORCID⁴: 0000-0002-7805-6085

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Turna E., Kafkas F., Şeker U. ve Yücesu H. S., “Kauçuk hava süspansiyon körüklerinin üretim yöntemi ve yorulma ömrünün ürün kalitesi üzerine etkisinin belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(4): 759-764, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.457954

Kauçuk Hava Süspansiyon Körüklerinin Üretim Yöntemi Ve Yorulma Ömrünün Ürün Kalitesi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Emre TURNA¹, Fırat KAFKAS², Ulvi ŞEKER², H. Serdar YÜCESU^{3*}

¹Meklas Otomotiv İth. İhr. San. ve Tic. Ltd. Şti., Bursa

²Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.11.2017 ; Kabul/Accepted : 23.02.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, taşıtlardaki süspansiyon sistemlerinin bir parçası olan hava süspansiyon körüğünün üretim tipinin ürün kalite özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen körüklerin ilgili standartlar göz önünde bulundurularak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Üretilen körüğün mekanik performanslarının belirlenmesine yönelik çalışma kapsamında Patlatma Test Makinesi, Taşıma-Genişleme ve Ömür Test Makinesi kullanılmıştır. İmal edilen hava süspansiyon körüklerinin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla patlatma, taşıma, genişleme ve ömür testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonrasında, körüğe ait patlatma basıncı, taşıma yükü değeri, tekrarlı yükleme durumunda kuvvet değerlerindeki değişimler belirlenmiştir. Ayrıca, körüğün taşıma yükü ve yatay yer değiştirme değerleri altında boyutsal değişimleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava süspansiyon körüğü, taşıt körüğü, körük üretimi, körük test yöntemleri.

Determination of the Effect of the Manufacturing Style And Fatigue Life of the Rubber Air Suspension Bellows on Product Quality

ABSTRACT

In this study, the effect of the production type of air suspension on the product quality characteristics has been investigated; which are part of the suspension systems in vehicle. The physical and mechanical properties of fabricated air spring bellows were determined taking into account the relevant standards. In scope of the work for determining mechanical performance of fabricated air spring bellows, The Explode Test Machine, The Conveying-Widening and Life Test Machines were used. For analyzing the mechanical properties of manufactured air spring bellows; explode, conveying-widening and life tests has been effectuated. After the tests, explode pressure of air spring bellows, value of carrying load, the changes of the value of force in case of repeatedly loading were determined. Moreover, the value of loading capacity of the air spring bellows and the dimensional changes within the horizontal displacement values were determined.

Keywords: Air spring, vehicle air spring, air spring production, air spring test procedures

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ticari ve kişisel araçlar için kauçuk hava süspansiyon sistemleri, yaylı sönümlenme bileşenleri olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Gelişmiş stabilite ve araç konforu, otomatik yükseklik ayarı, rijitlik düzenleme kabiliyeti ve farklı yüklerde neredeyse sabit rezonans frekansı gibi özellikler kauçuk hava süspansiyon sistemlerinin diğer süspansiyon sistemlerine karşı temel avantajları olarak sayılabilir [1,2].

Kauçuk hava süspansiyon sistemi genellikle bir üst plaka, bir kauçuk kompozit körük, bir piston ve bir tampondan oluşur. Hava boşluğunun iç kısmı, taşıma kapasitesi sağlayan sıkıştırılmış hava ile doldurulur ve bu kısım

sıkıştırma ve genleşme sayesinde değişen yüklere uygun bir şekilde tepki verir. Kauçuk hava süspansiyon sisteminin en kritik bileşeni körüklerdir. Sonuç olarak, yorulma ömrü genellikle körüklerin dayanma kabiliyetine bağlıdır. Körükler, sızdırmazlık sağlayan bir iç kauçuk tabakasından, takviye için kullanılan iki veya daha fazla kord bezi tabakasından ve farklı çevresel koşullardan körüğü koruyacak dış kauçuk tabakadan oluşan kompozit bir malzemeden imal edilmiştir.

Körüklerdeki gerilme-gerinim koşullarının analitik olarak belirlenmesi, karmaşık geometri ve her şeyden önce malzeme içeriğinin yapısı nedeniyle çok zordur. Hava körüğünün yorulma ömrü, istatistiksel olarak bağımlı olan birkaç faktörden etkilenir, ancak faktörler arasındaki ilişkiyi, analitik yöntemler kullanılarak önceden belirlenmek çok zordur [3-8]. Malzeme

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : yucesu@gazi.edu.tr

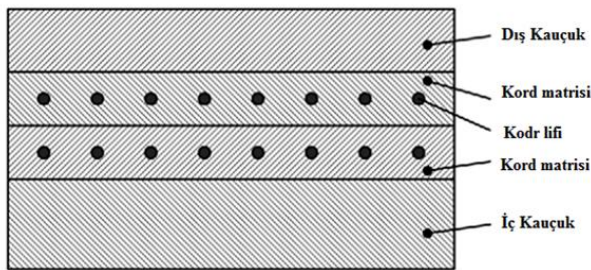
dayanımı, geometri ve gerçekçi yük koşullarına bağlı olan hava süspansiyon körüğünün yorulma ömrü, bu nedenlerden dolayı genellikle modelleri veya prototipleri test ederek belirlenir [9]. Günümüzde, yayların yorulma ömrü tahminleri esas olarak deneyler yoluyla elde edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, elle ve otomatik makinede üretilmiş kauçuk körüğün yorulma ömrünün ürün kalitesi üzerine etkisini belirlemektir. Burada yorulma çevrimlerinin ürün kalitesini belirleyen değerlerinin birbirinden fazla sapmamaları gerekir. Elle ve otomatik makinede üretilmiş kauçuk körüklerin sabit genlikle yüklendiği hızlandırılmış deneylere dayanarak, körüklerin farklı yorulma çevrimleri sonunda hiç yorulmamış numuneye ait kalite özelliklerini tayin etmek mümkündür.

İkinci bölümde, körüklerin maruz kaldığı yük ve analitik gerilme hesaplamaları, deneysel çalışma bölümünde ise test edilmiş kauçuk körükler, deney ekipmanları ve deneysel prosedürler sunulmuştur. Son bölümde ise, deneysel sonuçların ürün kalitesi üzerine etkileri tartışılarak öneriler sunulmuştur.

2. KAUÇUK KÖRÜK YÜKLERİ VE GERİLME HESAPLAMALARI (RUBBER AIR SPRING LOADS AND STRESS CALCULATIONS)

Bu çalışma, fiber takviyeli kauçuk kompozit malzemeden yapılmış kauçuk hava körüğünün yorulma ömrü üzerinde en önemli parçası olan hava körüğü parçası üzerinde odaklanmıştır. Bilindiği üzere, mühendislik sistemlerindeki hasarların çoğunluğu yorulmadan kaynaklanmaktadır. Aşağıda kauçuk hava körüğünün maruz kaldığı yükler ve gerilmeler teorik olarak açıklanmıştır. Körük malzemesi heterojen, anizotropiktir ve katmanlıdır. Körükler dört katmandan oluşur (Şekil 1).

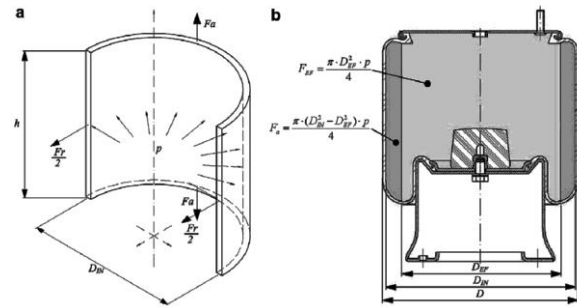


Şekil 1. Hava süspansiyon körüğünü oluşturan bileşenlerin kesiti[1]. (The cross section of the components forming the air spring)

Dış tabaka, körüğü ozon, oksijen, kir, su, mekanik parçalar gibi farklı çevresel etkilerden korunması için kullanılan ince bir kauçuk tabakasıdır. Kord kısmı, kauçuk dolgu malzemesi içerisindeki paralel kablo ipliklerinden oluşur. Kord kısmı her zaman çift tabaka olarak yerleştirilir. Kord çiftleri, her zaman aralarında belirli bir açıyla bir örgü oluşturacak şekilde bir araya getirilir. Kord çiftlerine ait lifler arasındaki açı, körük

eksenine göre simetrik olmalıdır. Aksi durum söz konusu ise, yani kord lifleri körük eksenine göre simetrik değilse, körüğün burularak katlanması görülebilir. İç tabaka körükten havanın sızmasını önlemek için kullanılan ince bir kauçuk tabakadır. Her dört katman vulkanizasyon işlemi sırasında birbirine yapıştırılır. Vulkanizasyon yaptıktan sonra, iki kat kord lifi takviyesine sahip kauçuk körük oluşturur, kord lifleri güçlendirme görevini üstlenir. Kauçuk çok elastik olduğundan ve kord liflerine sahip olmadığından, yükün çoğunluğunun kord lifleri tarafından taşınacağı varsayılabilir.

Çalışma sırasında körüklerdeki gerilme-zorlanma koşulları bilinmelidir. Körükler, içindeki basınç ile hem radyal hem de aksel yönde yüklenir. Üretilen aksel kuvvetin büyük kısmı kauçuk hava körüğünün etkili yay kuvveti olarak kullanılır ve aksel kuvvetin küçük bir kısmı ise körüklerin aksel bir yönde yüklenmesi için harcanır (Şekil 2) [2]. Çalışma sırasında körük, şokları hafifletmek için yüksekliğini değiştirerek farklı sürüş koşullarına tepki verir. Yükseklik değişiklikleri sonucunda, körük içindeki basınç, etkin yük ve belirli bir yerdeki gerilme koşulları sırayla değişir.



Şekil 2. Körüğe etki eden radyal ve aksel yükler [2]. (Radial and axial loads acting on the air spring)

Körüklerdeki gerilme-gerinim koşullarını analitik olarak ifade etmek için, bazı varsayımlar yapılmalıdır. Kauçuk, kord ipliklerinden çok daha yumuşak olduğu için, kord ipliklerinin tüm yükü üstlendiği varsayılabilir. Ayrıca, her iki kablo katmanının da aynı konumda (çap) olduğu varsayılarak problemi basitleştirebiliriz. Bu varsayımlarla kord iplikleri üzerindeki kuvvetler radyal ve aksel yönde hesaplanabilir.

Körüğün içindeki basınçla radyal yönde üretilen kuvvet, $F_{pr} = p \cdot A_r$ (1)

Eşitliği ile hesaplanabilir [1, 2]. Burada p körük içindeki basınçtır ve A_r , F_{pr} kuvvetine dik düzlemdeki alanıdır (Şekil 2a), ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$A_r = D_{IN} \cdot h \quad (2)$$

Eşitlik (2) DIN iç körük çapı ve h, körüğün yüksekliğidir (Şekil 2).(1) ve (2) eşitliklerinden;

$$F_{pr} = p \cdot D_{IN} \cdot h \quad (3)$$

eşitliği elde edilir. Kord ipliklerindeki radyal kuvvet, $F_r = F_{pr}$ (4)

olmalıdır. F_r , birim uzunluk başına kuvvete dönüştürülebilir. (Eşitlik 5).

$$N_r = \frac{p \cdot D_{IN}}{2} \quad (5)$$

Eksenel yöndeki basınç tarafından üretilen kuvvet,

$$F_{pa} = p \cdot A_a \quad (6)$$

eşitliği ile belirlenebilir [1,2]. Burada p körük içindeki basınçtır ve A_a, F_{pa} kuvvetine dik olan düzlemdeki kesittir (Şekil 2a) ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$A_a = \frac{\pi \cdot D_{IN}^2}{4} \quad (7)$$

Eşitlik (6) ve (7) den

$$F_{pa} = \frac{\pi \cdot D_{IN}^2 \cdot p}{4} \quad (8)$$

eşitliği türetilebilir.

Denge denkleminin yerine getirildiğinden emin olmak için, kablo ipliklerindeki eksenel kuvvet,

$$F_{pa} = F_{EF} + F_a \Rightarrow F_a = F_{pa} - F_{EF} \quad (9)$$

eşitliği ile tarif edilebilir. FEF, körük tarafından üretilen etkin kuvveti temsil eder ve bu kuvvet;

$$F_{EF} = \frac{\pi \cdot D_{EF}^2 \cdot p}{4} \quad (10)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada DEF körüğün etkin çapıdır (bakınız Şekil 2b). Eşitlik (9) da, eşitlik (8) ve (10) ifadeleri yerine yazılırsa, F_a

$$F_a = \frac{\pi \cdot (D_{IN}^2 - D_{EF}^2) \cdot p}{4} \quad (11)$$

şeklindeki ifade elde edilebilir.

İşlemi basitleştirmek için F_a, birim uzunluğa göre kuvvet şekline dönüştürülebilir.

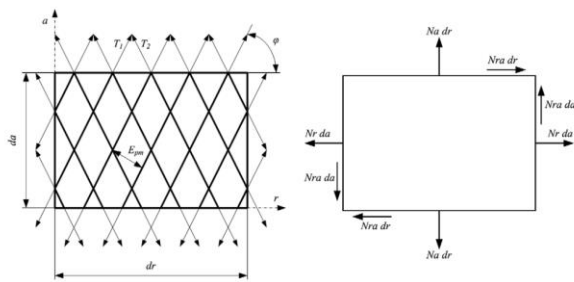
$$N_a = \frac{\pi \cdot (D_{IN}^2 - D_{EF}^2) \cdot p}{4 \cdot D_{mid}} \quad (12)$$

D_{mid}, her iki kordun da bulunduğu çap olarak varsayılır ve şu şekilde hesaplanabilir;

$$D_{mid} = \frac{D + D_{IN}}{2} \quad (13)$$

Burada D, körüklerin dış çapıdır (Şekil 2b).

Körüğe etki eden yükler diferansiyel olarak Şekil 3'teki gibi gösterilebilir.



Şekil 3. Diferansiyel elemana etki eden yükler [1]. (Differential actuating loads)

Elemanların koordinat sistemi körük eksenine paralel, yükler ve deformasyonlar simetrik olacağından, teğetsel kuvvetlerin sıfıra eşit olduğu söylenebilir. Kord ipliklerindeki kuvvetler T₁ ve T₂ olarak gösterilmiştir (Şekil 3). Seçilen koordinat sisteminde, kord lifleri aralarında bir φ açısı olacak şekilde uzanır. Bu nedenle,

radyal yöndeki kord lifi kuvvetlerini sırasıyla T₁·cosφ ve T₂·cosφ olarak ifade edilebilir. Elemanın yüksekliği da ve kord liflerinin yoğunluğu E_{pm} alındığında, Şekil 3 göz önünde bulundurularak, birim uzunluk başına radyal yöndeki kuvvet, N_r,

$$N_r \cdot da = (T_1 \cdot \cos \phi + T_2 \cdot \cos \phi) \cdot E_{pm} \cdot \cos \phi \cdot da \quad (14)$$

ve benzer olarak birim uzunluk başına eksenel yöndeki kuvvet, N_a,

$$N_a \cdot dr = (T_1 \cdot \sin \phi + T_2 \cdot \sin \phi) \cdot E_{pm} \cdot \sin \phi \cdot dr \quad (15)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, dr elemanın genişliğidir.

Eşitlik (14) ve (15) kullanılarak körüğün kord açısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir [1,2].

$$\tan^2 \phi = \frac{N_a}{N_r} \quad (16)$$

Yapılan varsayımlar göz önüne alınırsa, kord açısının yalnızca radyal ve eksenel yükler arasındaki ilişkiye bağlı olduğunu belirtilebilir. Dahası, dış çapın ve dolayısıyla körüğün tüm özelliğinin imalat kordonun açısına oldukça bağlı olduğu söylenebilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada 190 mm çaplı dingil körüğü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kauçuk körüğün şematik şekli ve körük kesiti yukarıda Şekil 1'de gösterilmiştir. Hava süspansiyon körüğü iç kauçuk, birinci kord bezi, ikinci kord bezi ve dış kauçuk olmak üzere dört katmandan oluşmaktadır.

İç kauçuk ve dış kauçuk aynı reçeteye sahip olmakla birlikte aralarındaki tek fark kalınlıktır. Kauçuğun körük üzerindeki fonksiyonu dışarıdan gelen darbelere karşı mukavemeti sağlamaktır. Birinci ve ikinci kord bezi arasında ise hiçbir fark yoktur, her ikisi de aynı rulodan gelmektedir.

Konfeksiyon işlemi biten yarı mamul vulkanizasyon presinde belirli sıcaklık, basınç ve sürede pişirilerek nihai şekli verilir. İstenen şekle ulaşmasının ardından azot ile soğutulmuş aldığı şeklin kalıcı olması sağlanmaktadır. Kauçuk ve kord bezi gibi kompozit malzemelerden oluşan yeni bir kompozit malzemenin davranışlarının kontrol altında tutulması oldukça zordur. Bu sebeple hava süspansiyon körüğü üretim sürecinin mühendislik gerektiren en önemli adımlarından biri de vulkanizasyon sürecidir.

Hava süspansiyon körükleri genel olarak; Sızdırmazlık Testi, Büyüme Kaldırma Testi, Patlatma Testi, Ömür Testi olmak üzere dört teste tabi tutulur. Bu çalışmada numunelere uygulanan bu dört test için TS EN 13597 standardında belirtilen koşullar esas alınmıştır.

3.2. Test Yöntemleri (Test Methods)

Sızdırmazlık Testi: Bir hava süspansiyon körüğünün içindeki havayı tutabilmesi için tamamen kapalı olarak çalışır durumda olması gerekmektedir. Herhangi bir yerde hava sızıntısı olması durumunda körük işlevini

yerine getirmemektedir. İçerisine hava basılan körükler bir su tankının içine yerleştirilir ve hava sızdırmazlık testi yapılır.

Büyüme Kaldırma Testi: Bu testte, araç altında kısıtlı bölgede çalışan körüğün genişlemesinin limitler dâhilinde olup olmadığı test edilir. Körüğün içerisine basınçlı havaya uygulanır ve lazer mesafe ölçüm sensörü ile çap değişimi ölçülür. Aynı zamanda, ürünün yük kaldırma kapasitesinin ölçümü için, bir yük hücresi kullanılarak belirlenen test basınçlarında ve yüksekliklerinde kuvvet ölçümü yapılmaktadır. Testler 5N hassasiyette 50 kN yükleme kapasitesine sahip Devotrans marka Büyüme Kaldırma Test Cihazında gerçekleştirilmiştir.

Patlatma Testi: Hava süspansiyon körükleri türlerine göre belirli bir basınçta çalışmaktadırlar. Körüklerin aşırı basınca karşı mukavemeti patlatma testi aracılığıyla ölçülmektedir. TS EN 13597 standartları incelendiğinde, havalı süspansiyon körüklerinin patlatma basınçlarının çalışma basıncının 3 katı veya 16 bar ile 30 bar arasında olması istenmektedir. Hava kullanılarak yüksek basınçlara çıkmak tehlikeli olduğundan bu testler hidrolik olarak gerçekleştirilmektedir. Test, körük patlayana kadar içerisine su ile bir basınç uygulanarak gerçekleştirilir. Patlatma testleri Firmanın Ar-Ge Merkezinde hizmette bulunan 1 bar hassasiyette 0-100 bar ölçüm aralığına sahip patlatma test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Ömür Testi: Hava süspansiyon körüklerinin ömürleri çalışma çevrimi üzerinden test edilmektedir. Körüğün kauçuk ve kord bezinden oluşan kısmı, alt tarafında yer alan pistonu sıvanıp ardından yukarı çıkarak eski haline gelmesi bir çevrimdir. Bu amaçla özel tasarlanmış cihazlarla bu çevrim iki milyon kez tekrarlanarak körüğün ömrünü etkileyebilecek yapısal özelliklerindeki değişimler test edilir.

3.3. Deneysel Çalışma Planı (Experimental Study Plan)
Deneysel elle ve otomatik makine ile üretilmiş benzer ölçülere sahip kauçuk körükler üzerinde, farklı yorulma çevrimlerinin körük kalitesi (kaldırma kapasitesi,

testleri uygulanmıştır. Ayrıca, bu testlerin ardından her bir körüğün maksimum patlama basıncı patlatma testi ile belirlenmiştir. Deneysel test planı Çizelge 1’de gösterilmektedir.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Elle ve otomatik makine kullanılarak hazırlanmış ve aynı şartlar altında vulkanize edilmiş kauçuk hava süspansiyon körüğünün sırasıyla kaldırma kuvveti, çap değişimi ve efektif alan test sonuçları verilmiştir. Kaldırma kuvveti ve çap değişimi sonuçları 4 farklı basınç değeri (1, 3, 5 ve 7 bar), 5 farklı yorulma ömür çevrim sayısı (0, 5x10⁵, 1x10⁶, 1.5x10⁶ ve 2x10⁶ çevrim) ve 5 farklı bağlama yüksekliğine (230, 300, 400, 500 ve 640 mm) göre oluşturulmuştur. Efektif alan sonuçlarını belirlemede test şartnamesine uygun olarak (TS EN 13597 standardına göre), 7 bar’lık maksimum test basıncı dikkate alınarak yapılmıştır.

230 ve 640 mm’lik bağlama yüksekliği değerleri sırasıyla körüğün minimum ve maksimum çalışma yüksekliğini gösterirken, 400 mm bağlama yüksekliği değeri körüğün tasarım yüksekliğidir. Bu durumda, kauçuk hava süspansiyon körüğünün optimal çalışma aralığı 300 ve 500 mm bağlama yüksekliği sınırları içerisinde gerçekleşmektedir. Ayrıca, elle ve otomatik makinede üretilmiş ürünlere ait aynı şartlar altındaki test sonuçlarının karşılaştırmalarında çap değişim sonuçları arasındaki değişimin ± 10 mm, kaldırma kuvveti ve efektif alan sonuçları arasındaki değişimin ise ± 10 tolerans sınırlarında olması gerekmektedir.

Testi yapılan bütün körük numunelerine sızdırmazlık testi yapılmış ve bütün körük numuneleri yapılan sızdırmazlık testini %100 başarı ile geçmiştir. Şekil 4’te görülen kaldırma kuvveti verileri büyüme-kaldırma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Grafikler incelendiğinde basınç arttıkça kauçuk hava süspansiyon körüğünün kaldırma kapasitesinin arttığı açıkça görülmektedir.

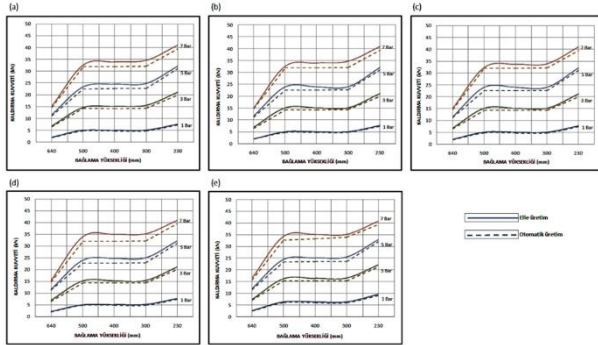
Çizelge 1. Test Planı (Tests Plan)

| Ömür Test Çevrimi | | Test Tipi | | | |
|-------------------|-----------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 0 | Kaldırma kuvveti (kN) | Çap Değişimi (mm) | Efektif alan (cm ²) | Patlatma basıncı ve süresi (bar ve sn) |
| | 500.000 | | | | |
| 3 | 1.000.000 | | | | |
| 4 | 1.500.000 | | | | |
| 5 | 2.000.000 | | | | |

patlama dayanımı vb.) üzerine etkisini araştırılmak için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 190 mm çapta sarılarak vulkanize edilmiş dingil körüğü kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılacak körükler 0, 5x10⁵, 1x10⁶, 1.5x10⁶ ve 2x10⁶ çevrim değerlerine kadar yorulmuş ve bu numunelere 4 farklı basınç (1, 3, 5 ve 7 bar) değeri ve 4 farklı bağlama yüksekliği kullanılarak Kaldırma kuvveti, yanıl çap değişimi ve efektif alan değişimi

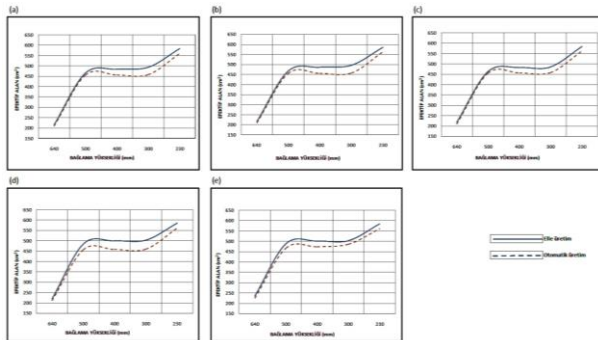
Ayrıca, körükler maksimum bağlama yüksekliğinde minimum kaldırma kapasitesine, minimum bağlama yüksekliğinde ise maksimum kaldırma kapasitesine sahiptir. Bu durum kauçuk körüklerden beklenen bir davranıştır. Değerlendirmeler ve karşılaştırmalar optimum çalışma yükseklikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Bütün test şartları için elle ve otomatik makinede üretilmiş ürünlerin kaldırma kuvveti değerleri

arasındaki fark şartnamede belirtilen $\pm 10\%$ tolerans değeri içerisinde. Şekil 4-d ve Şekil 4-e'deki grafikler incelendiğinde, yüksek çevrimde yorulmuş numuneler için optimum çalışma yüksekliğinde kaldırma kuvveti değerlerinin bir miktar yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bunun, kord liflerinin çalışma sertleşmesinden ileri gelen dayanım artışından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4. Kaldırma kuvveti test sonuçları: (a) 0 ömür çevrimi, (b) 5×10^5 ömür çevrimi, (c) 1×10^6 ömür çevrimi, (d) 1.5×10^6 ömür çevrimi (e) 2×10^6 ömür çevrimi (Lifting force test results: (a) 0 life cycle, (b) 5×10^5 life cycle, (c) 1×10^6 life cycle, (d) 1.5×10^6 life cycle (e) 2×10^6 life cycle)

Efektif alan, hava süspansiyon körüğünün nominal çalışma basınçlarında kuvvet oluşturan alanı ifade eder ve Şekil 2-b'de gösterilen DEF çapına karşılık gelir. Yorulma ömür testlerinde tüm numuneler 7 bar basınç altında denenmiştir. Şekil 6-d ve 6-e'deki gibi yüksek çevrimde yorulmuş numunelerde efektif alan artmıştır. Bu, yüksek çevrimde yorulmuş numunelerin kord liflerinde daha fazla plastik deformasyon meydana geldiğinden, DEF çapının daha fazla büyümesine atfedilmiştir. Bu durum, Şekil 4-d ve 4-e deki 7 bar basınçta kauçuk hava körüğünün yük taşıma kapasitesindeki artışın nedenini de açıklamaktadır.

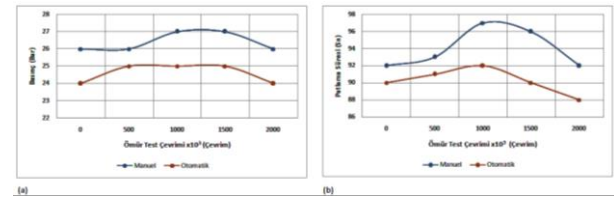


Şekil 6. 7 bar basınç altında efektif alan değişimleri: (a) 0 ömür çevrimi, (b) 5×10^5 ömür çevrimi (c) 1×10^6 ömür çevrimi, (d) 1.5×10^6 ömür çevrimi, (e) 2×10^6 ömür çevrimi (Effective area changes under 7 bar pressure: (a) 0 life cycle, (b) 5×10^5 life cycle (c) 1×10^6 life cycle, (d) 1.5×10^6 life cycle, (e) 2×10^6 life cycle)

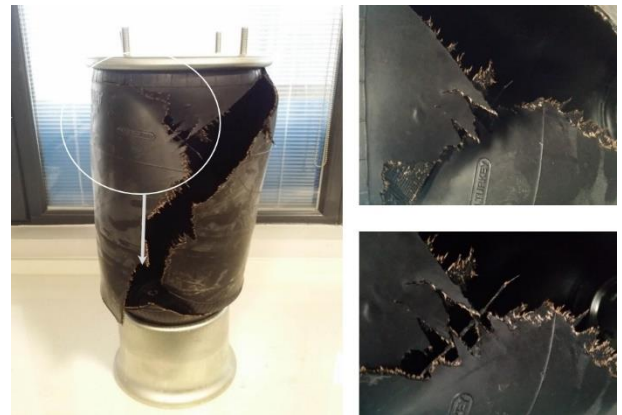
Şekil 7 yorulma ömür çevrimlerine göre patlama basıncı ve patlama sürelerini göstermektedir. Hava süspansiyon körüğünün araç üzeri çalışma sistem basıncı 6 ile 7 bar arasında değişmektedir. Hava süspansiyon körüğünün güvenli bir şekilde çalışabilmesi için dayanım değerinin, sistem basıncına göre 3,5 kat emniyetli çalışmasına

imkân sağlamalıdır. Yapılan 4 farklı patlatma testinin sonuçları değerlendirildiğinde ortaya çıkan patlama basıncı minimum 27 bar olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değer minimum emniyet katsayısının üstünde bir değere ulaştığı için patlatma test sonuçları uygundur. 1×10^6 ile 1.5×10^6 yorulma çevrimlerinde yorulmuş numuneler yüksek basınçta ve uzun sürede patlarken, 1.5×10^6 yorulma çevrimlerinin ötesinde patlama basıncı ve süresi düşmektedir. Kord liflerinin plastik deformasyonu neticesinde dayanım artışları 1×10^6 ile 1.5×10^6 yorulma çevrimlerinde üst seviyelere ulaşmaktadır. Yorulma çevrim sayılarının bu değerlerin üzerine çıkması kord liflerinin aşırı gevrekleşmesine sebep olduğundan liflerin ani kopmalarına yol açmakta ve bunun da yüksek yorulma çevrimlerinde yorulmuş numunelerin düşük basınçlarda ve sürelerde patlamasına neden olduğu düşünülmektedir.

Patlatma testi sonuçlarının değerlendirme kriterlerinden bir diğeri ise, kord bezinin kopma yönünün iplerle 90 derecelik bir açıya sahip olmasıdır. Test sonucunda ürünler incelendiğinde, kopma yönünün belirlenen kritere uygun olarak patladığı gözlemlenmiştir. Bu durumlar Resim 1' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Farklı yorulma çevrimlerinde numuneler için: (a) patlatma basınçları (b) patlama süreleri (For samples with different fatigue cycles: (a) burst pressures (b) burst times)



Resim 1. Patlatma testi uygulanmış körük numunelerinde patlama detayları (Explosion details in blast specimens subjected to blasting test)

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Kauçuk hava süspansiyon körüklerin üretim biçiminin ve yorulma ömrünün ürün kalitesi üzerine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bütün test şartları için elle ve otomatik makinede üretilmiş ürünlere ait test sonuçlarının şartnamelerde belirtilen tolerans değerleri içerisinde kaldığı belirlenmiştir.
- Yorulma çevrim sayısının artması kord liflerinin plastik deformasyona uğrayarak uzadığını göstermektedir.
- Kord liflerinin plastik deformasyona uğraması, pekleşme ile dayanımlarını da artırmaktadır. Dayanımdaki artış doğrudan plastik deformasyon miktarına bağlı olmakla birlikte, yüksek oranda yorulmuş kord liflerinde deformasyon miktarının büyümesi bu şartlarda denenen numunelerde kaldırma kapasitesinin artmasına sebep olmuştur.
- Yüksek çevrimde yorulmuş numuneler için optimum çalışma yüksekliğinde kaldırma kuvveti değerlerinin bir miktar yüksek çıkması, kord liflerinin çalışma sertleşmesinden ileri gelen dayanım artışından kaynaklanmaktadır.
- Bağlama boyunun artması hem radyal yönde hemde eksenel yönde oluşan kuvvetleri düşürmektedir. Eksenel yöndeki kuvvet düşüşü kaldırma kapasitesini düşürürken radyal kuvvetlerdeki düşüş ise çaptaki genişlemeyi azaltmaktadır.
- Ortalama yorulma çevrimlerinde Kord liflerinin plastik deformasyonundan kaynaklanan dayanım artışları üst seviyelere ulaşmaktadır. Yorulma çevrim sayılarının üst limitlere çıkarılması kord liflerinin aşırı gevrekleşmesine ve bunun da yüksek yorulma çevrimlerinde yorulmuş numunelerin düşük basınçlarda ve sürelerde patlamasına neden olmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen 0685.STZ.2014 kodlu SANTEZ projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar bu çalışmanın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına ve Meklas Otomotiv İth.İhr.San.ve Tic.Ltd.Şti. Ar-Ge Merkezine teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Oman, S., Fajdiga, M. and Nagode, M., “Estimation of air-spring life based on accelerated experiments”, *Materials and Design*, 31: 3859–3868, (2010).
- [2] Rebernik, J., “Development of air-spring optimization program”, Faculty of mechanical engineering, University of Ljubljana; (2008).
- [3] Mars, W.V. and Fatemi, A. A., “Literature survey on fatigue analysis approaches for rubber”, *Int J Fatigue*, 24: 949–961, (2002).
- [4] Mars, W.V. and Fatemi, A. A., “Factors that effect the fatigue life of rubber: a literature survey”, *Rubber Chem Technol*, 76: 391–412, (2003).
- [5] Cadwell, S., Merrill, R., Sloman, C. and Yost, F., “Dynamic fatigue life of rubber”, *Ind Eng Chem*, 12: 19–23 [Analytical edition], (1940).
- [6] Gent, A.N., “Engineering with Rubber. How to design rubber components”, *Berlin: Rubber Division.*, (2001).
- [7] Cardon, A.H. and Emri, I., “Durability analysis of structural composite systems”, *Faculty of Engineering (T.W)*, Free University Brussels; (1996).
- [8] Oman, S., Nagode, M. and Fajdiga, M., “The material characterization of the air-spring bellows sealing layer”, *Material and Design*, 30: 1141–1450, (2009).
- [9] Fischer, G., and Streicher, M., “Procedure for validation tests on air-springs for commercial vehicles”, *SAE technical paper series*, 982841, November (1998).