



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Konfor Kanallarının Amortisör Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

 Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK^{a,*},  Harun ANAÇ^b

^a Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

^b Maysan Mando Otomotiv Parçaları San. Tic. A.Ş., Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zkamis@uludag.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1056721

ÖZET

Yol zemininin düzgünlüğü, viraj dönme, hızlanma, frenleme, maksimum yük taşıma kapasitesi gibi parametrelere bağlı olarak amortisör beklentileri değişir. Bu gibi farklı durumlarda beklentileri karşılamak için amortisör sönümleme kuvvetinin değişken olması gerekir. Ancak pasif amortisörlerde sönümleme kuvveti yol durumundan bağımsız olarak piston ve taban valflerindeki yağ geçişlerine göre belirli hızlar için sabittir. Valf gruplarındaki akışa ek olarak, genellikle hafif ticari araçlar için silindire açılan konfor kanalları yardımı ile amortisörün sertleşmesi veya yumuşaması şeklinde karakteristikleri değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada konfor kanalına sahip olmayan ve olan aynı valf gruplarına sahip çift borulu teleskobik amortisörler test edilerek konfor kanallarının amortisör performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Konfor kanallarının özellikle düşük hızlarda sönümleme kuvvetini düşürdüğü ve konforlu sürüş sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Amortisör, Konfor Kanalı, Amortisör Performansı

Experimental Investigation of the Effect of Comfort Grooves on Shock Absorber Performance

ABSTRACT

Shock absorber expectations vary depending on parameters such as road surface smoothness, cornering, acceleration, braking, and maximum load-carrying capacity. In such different situations, the shock absorber's damping force must be variable to meet the expectations. However, in passive shock absorbers, the damping force is constant for certain speeds according to the piston and bottom valves' oil passages, regardless of the road condition. In addition to the flow in the valve groups, the shock absorber characteristics can be changed in the form of hardening or softening with the help of comfort grooves opened to the cylinder for light commercial vehicles. In this study, twin-tube telescopic shock absorbers with the same valve groups that do not have comfort channels and have the same valve groups are tested, and the effect of comfort channels on shock absorber performance has been investigated. It has been determined that comfort channels reduce the damping force, especially at low speeds, and provide comfortable driving.

Keywords: Shock Absorber, Comfort Groove, Shock Absorber Performance

I. GİRİŞ

Süspansiyon, taşıtı tekerleklerine bağlayan ve harekete izin veren bağlantı sistemidir. Süspansiyon sistemi taşıtlarda yoldan gelen titreşimlerin şasiye ulaşmasını engelleyerek konfor, lastik ile yol arasındaki teması devam ettirerek güvenliği sağlamaktadır. İyi bir süspansiyon sistemi titreşim kaynaklı şasi gerilimlerini ve tekerlek salınımlarını minimumda tutarken, aracın sürüş emniyetini maksimum düzeyde tutmalıdır [1], [2], [3].

Yaylar, amortisörler, denge çubukları ve bağlantı sistemi süspansiyon sisteminin temel elemanlarından bazılarıdır. Süspansiyon sisteminin en önemli iki elemanı süspansiyon yayları ve amortisörlerdir. Yaylar yoldan gelen darbeleri üzerine alır ve şasiye iletilmesini engeller. Amortisör yayın hareket enerjisini ısı enerjisine çevirerek yay salınımını kontrol eder, sönümler ve konforlu ve güvenli bir yolculuk sağlar [2]. Süspansiyon sisteminin en önemli elemanlarından biri olan amortisörler hızın fonksiyonu olan bir sönümlenme kuvveti üretirler. Bu kuvvete bağlı olarak amortisörün çok sert veya çok yumuşak olması aracın ömrünü azaltacağı gibi, sürüş güvenliği ile ilgili sorunlara yol açabilir. Bu yüzden taşıtlardaki amortisör seçimi taşıt dinamiğine uygun olmalıdır.

Pasif bir amortisörün çalışma prensibi, mile bağlı bir pistonun yağ dolu bir silindirin içinde gidip gelmesi sonucunda yağ hacminin değişmesi esasına dayanır (Şekil 1). Amortisörün içindeki yağ, fren görevi yapan ve amortisörün etkinliğini sağlayan en önemli elemandır ve aynı zamanda amortisörün içindeki hareketli parçaların yağlanması sağlar [4]-[6].

Bazı hafif ticari ve binek araçlarda arka teleskobik amortisörlerde piston ve taban valf grubunun sağlayacağı sönümlenme haricinde ekstra bir sönümlenme elde edebilmek için konfor kanallı silindirler tasarlanmaktadır. Buradaki amaç araç yüklü konumda iken daha yumuşak bir süspansiyon elde edilmek istenmesidir [7], [8]. Silindir üzerindeki konfor kanalları, amortisörün sahip olduğu valf grubunun karakteristiğine ek olarak, farklı bir sönümlenme karakteristiği oluşturur. Konfor kanallı bir amortisörde, silindirin düz olduğu yani konfor kanalı dışında kalan bölgede yağ akışları standart şekilde taban valf grubu ve piston valf grubu üzerinden sağlanmaktadır. Amortisörün çalışması ile birlikte piston, konfor kanalı bölgesine geldiği durumda, ek olarak yağın geçeceği bir boşluk daha oluşur. [8]. Piston valf grubu ve taban valf grubu haricinde yağın konfor kanallarından da geçmesi ile sönümlenme kuvvetleri değişir. Yağın konfor kanallarından kolay veya zor geçmesi sönümlenme kuvvetinin düşük veya yüksek olmasını sağlar. Konfor kanallarının uzunluğu veya konumu sönümlenme kuvvetini aritmetik olarak değiştirmez sadece ekstra sönümlenme kuvvetinin hangi konumda ve ne kadarlık bir strokta olacağını etkiler. Piston valf grubunun belli bir yükte konfor kanalında konumlanabilmesi için, konfor kanalı uzunluğu ve yeri tasarlanır. Böylece araç belirli yükte konforlu bir şekilde yol alabilir [9].

Bu çalışmada sekiz adet pasif, çift borulu, teleskobik amortisör üzerinde sönümlenme kuvveti ölçümleri yapılmıştır. Açık ve kapalı boyları, valf grupları, piston kolları, dış boruları, kılavuz ve keçe gibi parçaları aynı olan aynı tipteki amortisörlerin farklı olan tek parçası silindirleri diğer bir ifadeyle iç borularıdır. Test edilen amortisörlerden birisi standart düz silindirli teleskobik amortisör olup, aynı valf grubuna sahip diğer yedi adet amortisöre farklı sayıda, farklı genişlik ve derinlikte konfor kanalları açılmıştır. Böylece her silindir üzerindeki konfor kanalı toplam kesit alanı birbirinden farklıdır. Çalışmada ele alınan tüm amortisörlerin aynı hızlarda sönümlenme kuvvetleri ölçülerek düz silindirli amortisöre göre konfor kanallarının amortisörlerin sönümlenme kuvvetleri üzerindeki etkisi tespit edilmiştir.

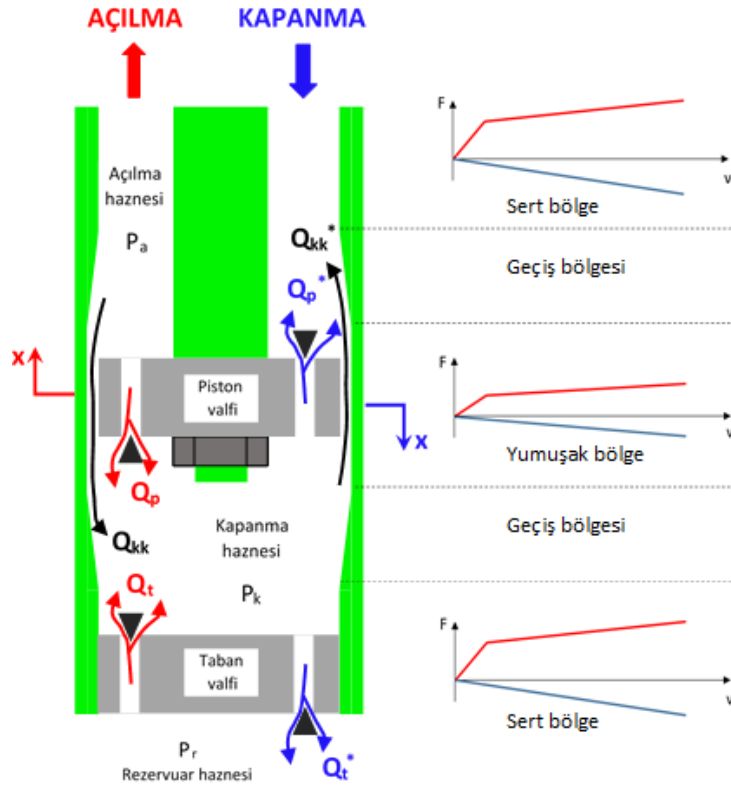
II. MATERYAL VE METOT

A. KONFOR KANALLI AMORTİSÖR

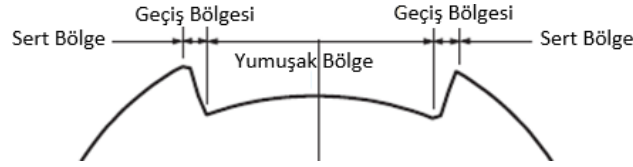
Konfor kanallı amortisörler genellikle hafif ticari araçlarda kullanılır ve belirli yüklerde aracın yumuşak ve konforlu bir şekilde yol almasını sağlar. Konfor kanalları amortisörlerin düşük hızda ve düşük strokta çalışacağı yol durumlarında etkilidir. Amortisörün şok görmeyeceği düzgün ve kaliteli yollar, aracın yavaş bir şekilde yol aldığı arnavut kaldırımı tarzı yollar veya büyük çukur ve tümsek haricindeki hafif engebeli yollar bu yol durumlarına örnek olarak verilebilir. Bu yol durumlarında amortisör piston valf grubu konfor kanalı sınırlarında çalışmalıdır.

Çift borulu düz silindirli geleneksel amortisörlerde kapanma haznesi ve rezervuar haznesi arasındaki yağ akışı taban valf grubu ile, açılma haznesi ve kapanma haznesi arasındaki yağ geçişi ise piston valf grubu ile sağlanır. Piston ve taban valf grubu üzerindeki yağ geçişleri amortisör sönümlenme kuvvetini oluşturur. Piston ve taban valf gövdesindeki akışlar valf üzerindeki deliklerden, ayar pullarındaki akışlar üzerindeki çentiklerden ve pulların üzerindeki akışlar ise pulların bükülmesi ile mekanik olarak zorlanmaları sonucu gerçekleşir.

Tipik pasif teleskobik amortisörden farklı olarak konfor kanallı amortisör silindirinde akış kanalları vardır. Böylece pistonun konfor kanalı bölgesinde çalışması esnasında daha düşük bir sönümlenme kuvvetinin oluşması ve dolayısı ile sürücü ve yolcuların yumuşak bir süspansiyon hissetmesi sağlanır. Amortisör konfor bölgesinde çalışırken piston valf grubuna ek olarak konfor kanallarından da akış sağlanır. Bu kanallar şekilleri itibarıyla silindiri yumuşak bölge, sert bölge ve geçiş bölgesi olarak üç bölüme ayırır (Şekil 1, 2). Konfor kanalının sürekli devam ettiği kısım yumuşak bölge, konfor kanalının silindir düz bölgesine geçiş yaptığı silindir iç çapının daraldığı kısım geçiş bölgesi ve son olarak silindirin konfor kanalı ve geçiş bölgesi harici kalan tüm kısımları ise sert bölge olarak adlandırılır. Kuvvet geçişlerinin düzgün olması için geçiş bölgeleri konikleştirilir [7], [8].



Şekil 1. Konfor kanalının hız-kuvvet eğrisine etkisi.

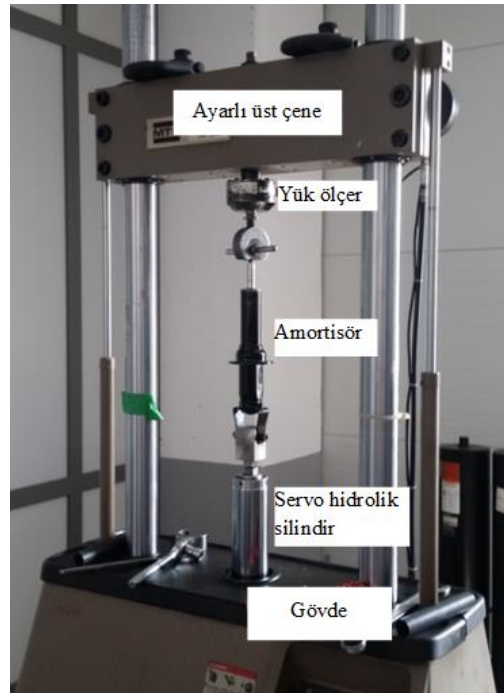


Şekil 2. Konfor kanallı amortisör kuvvet yol grafiği piston geçiş bölgeleri.

Şekil 1’ de konfor kanallı bir amortisörde yağ geçişleri gösterilmiştir. Şekil üzerinde, sol kısım açılma durumu, sağ kısım ise kapanma durumunu göstermektedir. Şekil 1’ den görüldüğü gibi hem açılma hem de kapanma durumunda piston ve taban valfi üzerindeki akışlara ilave olarak konfor kanalından da yağ geçişi olmaktadır. Amortisör açılırken; açılma haznesinden kapanma haznesine piston valf grubu (Q_p) ve konfor kanalı üzerinden (Q_{kk}), rezervuar haznesinden kapanma haznesine de taban valf grubu üzerinden (Q_t) akış olur. Amortisör kapanırken ise; kapanma haznesinden açılma haznesine piston valf grubu (Q_p^*) ve konfor kanalı üzerinden (Q_{kk}^*), kapanma haznesinden rezervuar haznesine de taban valf grubu üzerinden (Q_t^*) akış olur. Konfor kanalı üzerinden gerçekleşen ilave akış amortisör direnç kuvvetlerini azalttığı için sönümlenme kuvvetini düşürür. Piston konfor kanalı bölgesinden ayrıldığında $Q_{kk} = Q_{kk}^* = 0$ ’dır [7], [10]-[12].

B. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada konfor kanallı ve kanalsız sekiz farklı amortisör için sönümlenme kuvvet testleri Şekil 3’ te gösterilen servo hidrolik test makinasında yapılmıştır. Amortisör belirli hızlarda hareket ettirilerek oluşan sönümlenme kuvvetleri ölçülmüştür. Kullanılan makinenin yük kapasitesi 25 kN, hız kapasitesi 4 m/s ve sahip olduğu strok boyu ± 125 mm’dir.







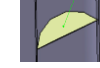



Şekil 3. 25 kN kapasiteli servo hidrolik test makinası.

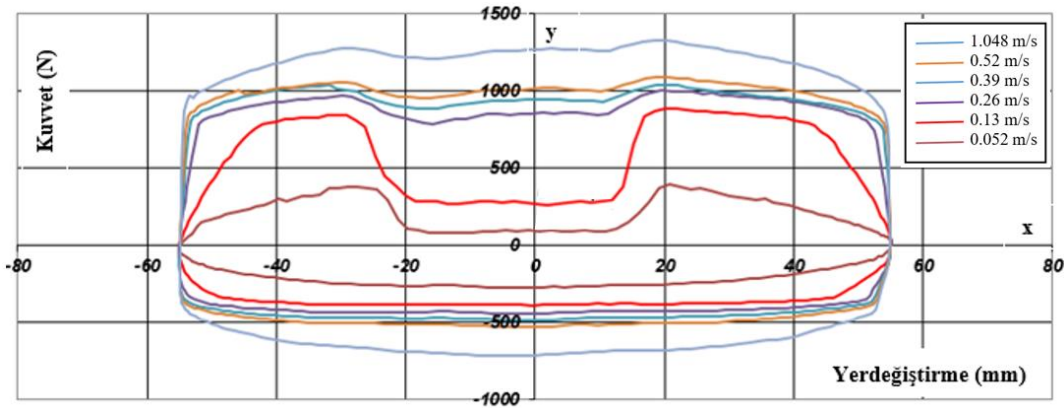
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada silindirleri dışında tüm parçaları (valf grupları, gövde boruları, piston kolları, kılavuz ve keçeleri vb.) birbirinin aynı olan ve Tablo 1’ de verilen farklı konfor kanalı alanlarına sahip amortisörler ele alınmıştır (piston kolu çapı: 12.5 mm; gövde borusu çapı: 45 mm; silindir borusu çapı: 30 mm).

Tablo 1. Test edilen çift borulu teleskobik amortisör konfor kanalı özellikleri.

Konfor Kanalı Özellikleri	Amortisör No							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Kesit görünümü								
Sayısı	0	2	2	1	1	2	3	3
Toplam kesit alanı (mm ²)	0	2.76	3.18	3.42	3.6	3.65	3.72	4.14

Konfor kanalının amortisör sönümlene karakteristiğine etkisini görebilmek için, 2 nolu test amortisörü yumuşak bölgeye ek olarak, sert ve geçiş bölgesi olarak tanımlanan konfor kanalı dış kısmında da hareket ettirilmiştir. Bu amaçla ± 55 mm strokta ve farklı hızlarda test edilerek amortisörün kuvvet-yerdeğiştirme karakteristik eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4). Şekil 4’ ten görüldüğü gibi amortisör konfor kanalından geçerken sönümlene kuvveti düşmekte konfor kanalından çıktığında tekrar yükselmektedir. Konfor kanalının sönümlene kuvveti üzerindeki etkisi düşük amortisör hızlarında daha belirgindir (özelikle 0.052 m/s ve 0.13 m/s). Konfor kanalının uzunluğu geçiş bölgeleri arasındaki mesafe kadar olduğundan kuvvet düşüşünün ne kadarlık bir strokta olacağını gösterir ve bu strok boyu kuvvet-yer değiştirme grafiğinden yaklaşık olarak tahmin edilebilir.



Şekil 4. 2 nolu test amortisörü için kuvvet-yerdeğiştirme grafiği.

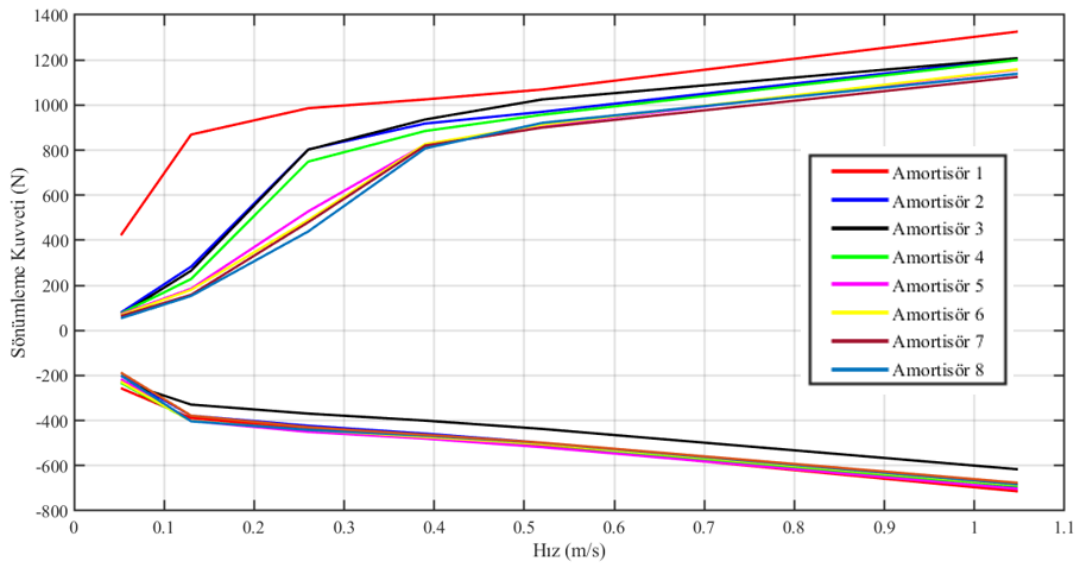
Amortisör deneylerinde elde edilen karakteristiklerden biri de kuvvet-hız grafikleridir. Bu grafiklerin tipik bir şekli vardır ve bu grafikler yardımı ile belirli bir hızda oluşan sönümlene kuvveti analiz edilebilir [13]. Tablo 1’de çeşitli boyutsal özellikleri ve kesit görüntüleri verilen sekiz adet amortisör aynı hızlarda test edilmiş ve konfor kanallarının etkisi elde edilen kuvvet-hız grafikleri yardımı ile incelenmiştir. Konfor kanallarının uzunluk ve konumuna bakılmaksızın kesit alanlarının etkisinin incelenmesi için kuvvet hız grafikleri amortisörler ± 15 mm ve toplam 30 mm strokta hareket edecek şekilde deneyler yapılmıştır. Böylelikle piston valf grubu, konfor kanalı boyunca yani yumuşak

bölgede kalmıştır. Bu deneylerde 0,052 m/s, 0,13 m/s, 0,26 m/s, 0,39 m/s, 0,52 m/s ve 1.048 m/s hızlarında amortisörlerin sönümlenme kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar konfor kanalsız 1 nolu amortisör ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5'te, Tablo 1' de verilen sekiz farklı amortisör için deneysel olarak elde edilen sönümlenme kuvvet-hız grafikleri gösterilmiştir. Amortisörün açılması esnasında elde edilen sönümlenme kuvvetleri hız ekseninin üst kısmında, kapanma sırasında elde edilen sönümlenme kuvvetleri ise hız ekseninin alt kısmında yer almaktadır. Şekil 5' ten görüldüğü gibi konfor kanallarının kapanma durumunda belirgin bir etkisi yoktur. Açılma durumunda ise düşük hız bölgesinde belirgin bir kuvvet düşüşüne neden olmaktadır. 0.05 m/s hızında sönümlenme kuvveti konfor kanalsız amortisörde 422 N iken, aynı hızda konfor kanallı amortisörlerde konfor kanalı kesit alanına bağlı olarak 54 N ile 79 N değerleri arasında değişmektedir. Aynı şekilde 0.13 m/s hız değerinde konfor kanalsız amortisörde sönümlenme kuvveti 869 N iken, aynı hızda konfor kanallı amortisörlerde konfor kanalı kesit alanına bağlı olarak sönümlenme kuvveti 153 N ile 283 N değerleri arasında değişmektedir. 0.13 m/s' den daha büyük hızlarda ise sönümlenme kuvvetlerindeki farklar azalmaktadır.

Test edilen sekiz adet amortisörün referans hız değerleri için açılma ve kapanma durumunda sönümlenme kuvveti değerleri Tablo 2' deki gibidir. Tablo 2' de aynı zamanda konfor kanallı amortisörlerdeki sönümlenme kuvvetlerinin 1 nolu konfor kanalsız amortisör sönümlenme kuvvetine göre oranı yüzdesel olarak da verilmiştir. Tablo 2' den görüldüğü gibi kuvvet düşüşleri açılma durumunda daha fazladır. Düşük hızlarda konfor kanalının etkisi daha belirgin olup 0.052 m/s amortisör hızında konfor kanalı sönümlenme kuvvetini konfor kanalsız amortisördeki kuvvet değerinin %13' üne kadar düşürmüştür. Yüksek hızlarda konfor kanalının etkisi daha az olup örneğin 1.048 m/s amortisör hızında kuvvet en fazla konfor kanalsız amortisördeki kuvvetin %85' ine kadar düşmüştür. Sonuç olarak konfor kanallı amortisörlerin düşük hızlarda belirli stroklarda daha konforlu bir sürüş sağladığı, ± 15 mm' yi geçmeyen engebeli yollarda konfor kanallarının amortisör performansı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

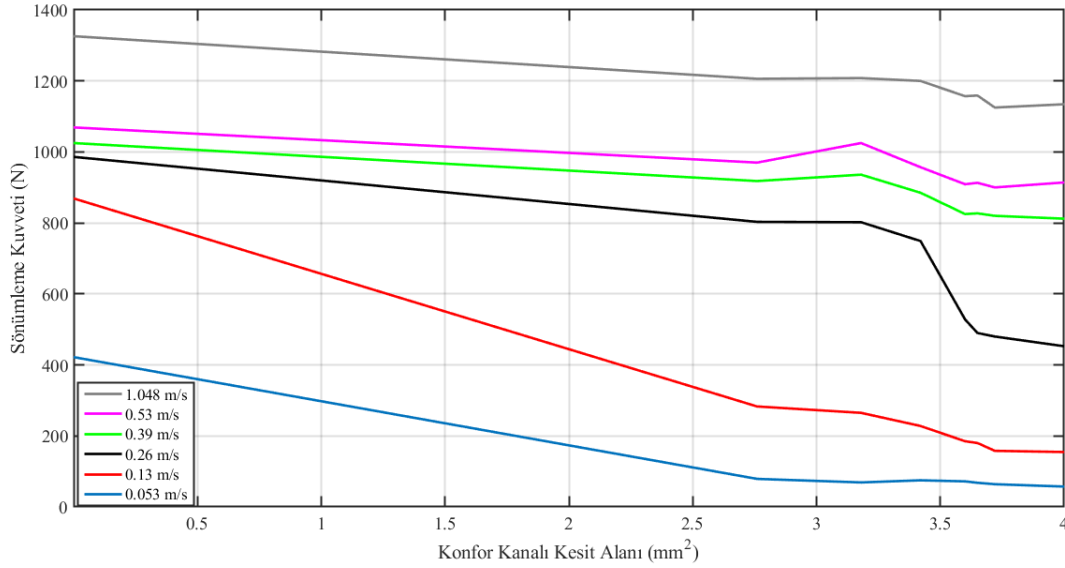
Şekil 6'da ise yapılan testlerden elde edilen verilere göre, açılma durumunda farklı amortisör hızları için, konfor kanalı kesit alanına karşılık sönümlenme kuvveti değişimleri verilmiştir. Bu şekilden konfor kanalı kesit alanı arttıkça sönümlenme kuvvetinin düştüğü ve düşük hızlarda (0,052 m/s ve 0,13 m/s) düşüş oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek hızlarda akışkan debisi arttığı için pullar zorlanmakta ve akışkan geçecek başka yerler de aramakta ve sonuç olarak sönümlenme kuvveti artmaktadır. Dolayısıyla konfor kanalı etkisi yüksek hız durumlarında azalmaktadır.



Şekil 5. Test edilen amortisörlerin kuvvet-hız (F- v) grafiğinin karşılaştırılması.

Tablo 2. Test edilen amortisörlerin sönümleme kuvvetleri ve yüzdesel karşılaştırması.

Amortisör No	Hız v (m/s)												
	0.052		0.13		0.26		0.39		0.52		1.048		
	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	F (N)	%F	
Açılma	1	422	%100	869	%100	986	%100	1025	%100	1069	%100	1326	%100
	2	79	%19	283	%33	803	%81	918	%90	970	%91	1206	%91
	3	69	%16	265	%31	802	%81	936	%91	1025	%91	1208	%91
	4	75	%18	228	%26	749	%76	885	%86	957	%91	1200	%91
	5	72	%17	185	%21	528	%54	825	%81	909	%85	1157	%87
	6	68	%16	180	%21	490	%50	827	%81	913	%85	1159	%87
	7	64	%15	158	%18	480	%49	820	%80	900	%84	1125	%85
	8	54	%13	153	%18	439	%45	808	%79	921	%86	1139	%86
Kapanma	1	-256	%100	-389	%100	-433	%100	-469	%100	-513	%100	-714	%100
	2	-200	%78	-378	%97	-423	%98	-458	%98	-498	%97	-692	%97
	3	-226	%88	-329	%85	-369	%85	-400	%85	-437	%86	-616	%86
	4	-232	%90	-402	%103	-448	%103	-479	%102	-517	%97	-690	%97
	5	-216	%84	-402	%103	-450	%104	-480	%102	-518	%101	-703	%99
	6	-227	%88	-402	%103	-441	%102	-473	%101	-504	%98	-686	%96
	7	-200	%78	-403	%103	-441	%102	-467	%99.5	-499	%97	-683	%96
	8	-187	%73	-378	%97	-429	%99	-463	%99	-498	%97	-676	%95



Şekil 6. Konfor kesit alanı ve hıza bağlı sönümleme kuvveti değişim grafiği.

IV. SONUC

Bu çalışmada konfor kanallarının amortisör sönümleme kuvveti üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İlk olarak konfor kanalsız düz silindirik geleneksel bir amortisör (amortisör no:1), sonrasında konfor kanalsız amortisör ile aynı özelliklere sahip farklı konfor kanallı silindiriklerden oluşan amortisörler (amortisör no:2-8) test edilmiştir. Kuvvet-hız ölçümleri konfor kanalı bölgelerinde ± 15 mm olmak üzere toplam 30 mm strokta yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda konfor kanalının olmadığı ve olduğu amortisörler için farklı hızlardaki sönümleme kuvvetleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan konfor kanallarının düşük amortisör

hızlarında (0,052 m/s ve 0,13 m/s) sönümlenme kuvvetini azalttığı tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde konfor kanalı kesit alanı arttıkça sönümlenme kuvvetinin düştüğü ve düşük hızlarda (0,052 m/s ve 0,13 m/s) düşüş oranının da yüksek olduğu belirlenmiştir.

Konfor kanallarının düşük hızlarda etkinliğinin fazla olmasının nedeni, akış yönünün açılma haznesinden kapanma haznesine zorlanmadan olması, zorlanmadığı için de yağın büyük bölümünün bulunduğu en kolay yerden yani konfor kanalından geçmesidir. Yüksek amortisör hızlarında konfor kanallarının sönümlenme kuvveti üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni yüksek hızlarda açılma haznesinden, kapanma haznesine geçen yağın debisinin daha da artması ve akış zorlandığı için yağın sadece konfor kanalından değil piston valf grubundan da geçmesidir.

Sonuç olarak konfor kanallarının düşük amortisör hızlarında ve yol genişliğinin ± 15 mm' yi geçmeyeceği pürüzlü ve engebeli yollar için konforlu sürüş sağlayabileceği tespit edilmiştir.

Çalışmada konfor kanalı sayısı kanal kesit alanını artırıcı bir etken olarak değerlendirilmiştir. Sonraki çalışmalarda konfor kanalı sayısı, geometrisi, silindir üzerine yerleşimi gibi etkiler amortisör modelleme ve analiz çalışmaları ile birlikte daha kapsamlı olarak ele alınabilir.

TEŞEKKÜR: Deneysel çalışmalar Maysan Mando A.Ş. firmasında yürütülmüştür.

V. KAYNAKLAR

- [1] C.R. Meissen, "Development and validation of a physical model for a modern twin tube damper," M.S. thesis, Department of Mechanical Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, US, 2009.
- [2] M. Gündoğ, "Binek araçlarda kullanılan çift borulu amortisörlerin teknik açıdan incelenmesi, matematik modelin oluşturulması ve uygulanması," Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2016.
- [3] H. Okuturlar, M. Tınkır, "Araç süspansiyon sisteminin nümerik ve deneysel dinamik analizi," *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 85-105, 2021.
- [4] E. Akdemir, "Araçlardaki amortisörlerin sönüm etkisinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2014.
- [5] D. Guan, X. Jing, H. Shen, L. Jing, J. Gong, "Test and simulation the failure characteristics of twin tube shock absorbers," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 122, pp. 707-719, 2019.
- [6] W.S. Singh, N. Srilatha, "Design and analysis of shock absorber: a review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 4832-4837, 2018.
- [7] C.T. Lee, B.Y. Moon, "Simulation and experimental validation of vehicle dynamic characteristics for displacement-sensitive shock absorber using fluid-flow modelling," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 20, no. 2, pp. 373-388, 2006.
- [8] H. Anaç, "Çift borulu pasif bir teleskobik amortisörde silindir konfor kanallarının amortisör karakteristiğine etkisinin deneysel olarak incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2021.
- [9] J.W. Park, D.W. Joo, Y.H. Kim, "A study on the stroke-sensitive shock absorber," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 85-90, 1997.

- [10] J. Zou, X. Guo, M.A.A. Abdelkareem, L. Xu, J. Zhang, “Modelling and ride analysis of a hydraulic interconnected suspension based on the hydraulic energy regenerative shock absorbers,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 127, no. 15, pp. 345-369, 2019.
- [11] R. Wang, Z. Chen, H. Xu, K. Schmidt, F. Gu, A.D. Ball, “Modelling and validation of a regenerative shock absorber system,” *Proceedings of the 20th International Conference on Automation & Computing*, Bedfordshire, UK, 2014. pp. 32–37.
- [12] J. Łuczko, U. Ferdek, “Non-linear analysis of a quarter-car model with strokedependent twin-tube shock absorber,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 115, no. 15, pp. 450-468, 2019.
- [13] C.T. Lee, B.Y. Moon, “Study on the damping performance characteristics analysis of shock absorber of vehicle by considering fluid force,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 520-528, 2005.