

HİDROLİK MOTOR TAKOZLARINDA KULLANILAN AKIŞKANIN TİTREŞİM SÖNÜMLEMEYE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Zeliha KAMIŞ KOCABIÇAK ^{*} 

Alınma: 22.11.2024 ; düzeltme: 10.01.2025 ; kabul: 22.01.2025

Öz: Hidrolik motor takozları taşıtlarda en yaygın olarak kullanılan takoz tipleridir. Kauçuk-metal yapıya sahip konvansiyonel takozlardan farklı olarak hidrolik motor takozlarında hidrolik akışkan yer alır ve bu akışkanın sağladığı direnç kuvveti takozun sönümleme performansını etkiler. Bu çalışmada hidrolik motor takozlarında akışkan etkilerini incelemek amacıyla referans olarak belirlenen bir takozun akışkan doldurularak ve doldurulmadan montajı yapılmıştır. Her iki yapıdaki takoz da tekerlek kaynaklı titreşim etkilerini incelemek amacıyla düşük frekans bölgesinde yüksek genliklerde, motor kaynaklı titreşim etkilerini incelemek amacıyla da yüksek frekans bölgesinde düşük genliklerde test edilmiştir. Testlerde düşük genlikli titreşimlerde yaklaşık 140 Hz frekans değerine kadar akışkan doldurulan ve doldurulmayan takozların dinamik direngenlik değerleri birbirine oldukça yakın olarak elde edilmiş bu frekans değerinden sonra akışkan doldurulan takozun dinamik direngenlik değeri düşmeye başlamıştır. Düşük frekans aralığında yüksek genlikli titreşimlerde ise akışkan dolu hidrolik motor takozlarında daha yüksek dinamik direngenlik değeri elde edilmiştir. Tekerlek aracılığıyla yoldan kaynaklanan yüksek genlikli titreşimlerin etkilerini incelemek amacıyla elde edilen deney verileri çeyrek taşıt modeline uygulanmış ve farklı frekanslarda yol girdilerine karşılık takozda kullanılan akışkanın titreşim sönümleme özelliklerine etkisi analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda 8.5-13.5 Hz aralığındaki yol girdilerinde akışkan dolu takoz kullanıldığında yoldan gelen titreşimlerin daha iyi sönümlendiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik motor takozu, dinamik direngenlik, faz açısı, çeyrek taşıt modeli, genlik oranı

Investigation of The Effect of Fluid Used in Hydraulic Engine Mounts on Vibration Damping

Abstract: Hydraulic engine mounts are the most commonly used mount types in vehicles. Hydraulic engine mounts contain hydraulic fluid, and the resistance force provided by this fluid affects the damping performance of the mount. In this study, a reference mount was assembled with and without fluid filling to examine the fluid effects. Both structures were tested at high amplitudes in the low-frequency region and at low amplitudes in the high-frequency region. In the tests, the dynamic stiffness values of the mounts filled with and without fluid were obtained close to each other, up to approximately 140 Hz frequency in low amplitude vibrations, and the dynamic stiffness of the fluid-filled mount started to decrease after this frequency. In the low-frequency range, higher dynamic stiffness values were obtained in fluid-filled hydraulic engine mounts in high amplitude vibrations. The test data were applied to the quarter car model to examine the effects of high amplitude vibrations from the road and the effect of the fluid on the vibration-damping properties in the road inputs at different frequencies was analyzed. As a result, it was determined that the vibrations from the road were better damped when the fluid-filled mount was used between 8.5-13.5 Hz.

Keywords: Hydraulic engine mount, dynamic stiffness, phase angle, quarter vehicle model, amplitude ratio

^{*} Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 16240, Nilüfer, Bursa
İletişim Yazarı: Zeliha Kamış Kocabiçak (zkamis@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Motor-şasi-gövde sistemi, motordan, yoldan ve tekerleklerden kaynaklanan istenmeyen titreşimlere maruz kalır. Motorun rölantide çalışması, zorlu yol koşullarında aktarma organlarının hareketi ve ani hızlanma nedeniyle düşük frekanslarda büyük genlikli titreşimler oluşurken motor salınımı ile yüksek frekanslarda küçük genlikli titreşimler ortaya çıkmaktadır. Oluşan titreşimler, sürücü ve yolcu konforunu olumsuz etkileyebilir ve aynı zamanda motor ve diğer bileşenlere zarar verebilir. Motor takozları motoru gövdeye sabitleyip ağırlığını taşıırken motor çevresindeki yapıları ve parçaları korur. Bunun yanı sıra yoldan ve motordan gelen titreşimlerin sönümlenmesine ve sürüş konforunu arttırmaya yardımcı olur. Yol veya motor rölantisi kaynaklı titreşimleri kontrol etmek için motor takozu sert ve yüksek sönüm özelliğine sahip olmalıdır. Ancak motor kaynaklı küçük genlikli titreşim izolasyonu ve akustik konfor için düşük sönümlü bir takoz gereklidir. Motor takozlarının bu iki zıt kriteri karşılaması gerekir (Shangguan ve Lu, 2004, Marzbani, 2014).

Motor takozları, genellikle kauçuk-metal birleşimi malzemelerden yapılmıştır ve farklı motor tipleri ve uygulamalar için farklı tasarımlara sahip olabilirler. Kullanım amacı ve sürüş konforuna göre motor takozları, kauçuk (konvansiyonel) takozlar, hidrolik takozlar, yarı aktif ve aktif takozlar olmak üzere dört ana kategoriye ayrılmaktadır (Yu ve diğ., 2001). Konvansiyonel takozların farklı frekans ve genliklerdeki titreşimleri sönümlemek için yetersiz kalması, yarı aktif ve aktif motor takozlarının ise karmaşık yapıları olmaları ve pahalı tasarım süreçleri nedeniyle en yaygın kullanılan motor takozları hidrolik motor takozlarıdır. Hidrolik motor takozları kullanılan akışkanın hareketine bağlı olarak farklı frekans aralıklarında farklı sönümleme ve direnç özelliklerine sahiptir. Bu takozlarda, düşük frekanslı büyük genlikli titreşimler için iç kanal etkisi ile yüksek sönümleme sağlanırken, yüksek frekanslı küçük genlikli titreşimler için ayırıcı bileşeni ile düşük sönümleme sağlanır (Shangguan ve Lu, 2004, Marzbani ve diğ., 2014).

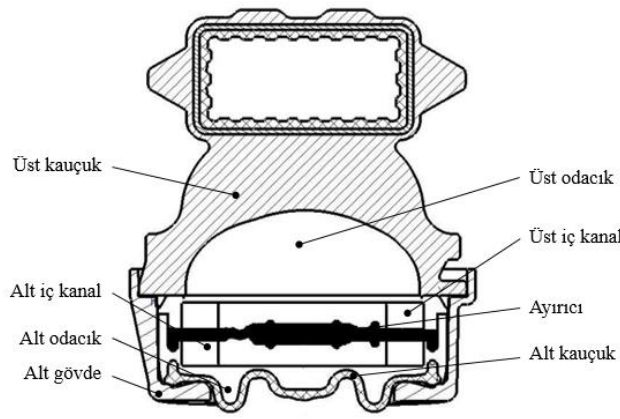
Hidrolik motor takozları üzerine yapılan çalışmalar genellikle modelleme, tasarım ve optimizasyon üzerine yoğunlaşmaktadır. Literatürde yer alan araştırmalara bakıldığında modelleme çalışmaları iki farklı kategoride değerlendirilebilir. İlki doğrusal ve doğrusal olmayan model yaklaşımlarıyla hidrolik motor takozlarının düşük ve yüksek frekanslardaki dinamik davranışını belirlemek üzerine yürütülen çalışmalardır (Geisberger ve diğ., 2002, Zhang ve diğ., 2009, Liu. ve diğ., 2021, Christopherson ve diğ., 2006, Shangguan ve Lu, 2004). Diğer modelleme çalışmaları da hidrolik motor takozlarının taşıt sürüş konforuna etkisini belirlemeye yöneliktir (Hung ve diğ., 2021). Tasarım çalışmaları daha çok ayırıcı üzerine (Christopherson ve diğ., 2012, Fallahi ve diğ., 2021, Vahdati ve diğ., 2024) ve takoz tasarım parametrelerini belirlemeye yöneliktir ve genellikle modelleme ve optimizasyon ile birlikte yürütülen çalışmalardır (Garmaroudi ve Mosayebi, 2017). Optimizasyon çalışmalarının bazıları araç sürüş konforunu iyileştirmeyi amaçlarken (Rasekhipour ve Ohadi 2011), bazıları belli frekanslarda takozun davranışını belirlemeye yöneliktir (Ahn ve diğ., 2003, Geisberger ve diğ., 2002, Christopherson ve Jazar, 2005, Ahn ve diğ., 2005).

Bu çalışma kapsamında, hidrolik motor takozlarında kullanılan akışkanın takozun sönümleme özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bunun için referans bir hidrolik motor takozu seçilmiş ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Hidrolik motor takozunun akışkan doldurularak ve doldurulmadan dinamik testleri yapılmış, faz açısı ve dinamik dirençlik değerleri elde edilerek sönüm özellikleri karşılaştırılmıştır. Her iki takoz da düşük frekans bölgesinde yüksek titreşim genliklerinde ve yüksek frekans bölgesinde düşük titreşim genliklerinde test edilmiştir. Yapılan testlerde düşük genlik ve yüksek frekanslarda, akışkan doldurulan hidrolik motor takozunun dinamik dirençlik değerinin belli bir değere kadar akışkan doldurulmayan takoz ile aynı seviyede ve belli bir değerden sonra daha düşük olduğu belirlenmiştir. Düşük frekans bölgesinde yüksek genliklerde ise akışkan doldurulan takozun dinamik dirençlik ve faz açısı değerlerinin akışkan doldurulmayan takozla göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yoldan kaynaklı düşük frekanslı titreşimlerde akışkan doldurulan ve doldurulmayan takozlar için elde

edilen deney verileri çeyrek taşıt modeline uygulanmış ve takozların süspansiyon sistemi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

2. HİDROLİK MOTOR TAKOZU

Hidrolik motor takozları motor süspansiyon sistemlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel kauçuk-metal birleşimi takozlardan farklı olarak, hidrolik motor takozlarında altta ve üstte yer alan iki adet odacık içinde genellikle etilen glikol ve antifriz karışımı olan hidrolik akışkan kullanılır. Odacıklar arasında yüzer eleman olarak görev yapan ve düşük genliklerde sönümlemeyi sağlayan bir ayırıcı bulunur (Şekil 1). Motor ve araç hareketi sonucu takoz uyarıldığında, hidrolik akışkan iç kanallar aracılığıyla iki odacık arasında transfer edilerek sönümleme sağlanır (Shangguan ve Lu, 2004).

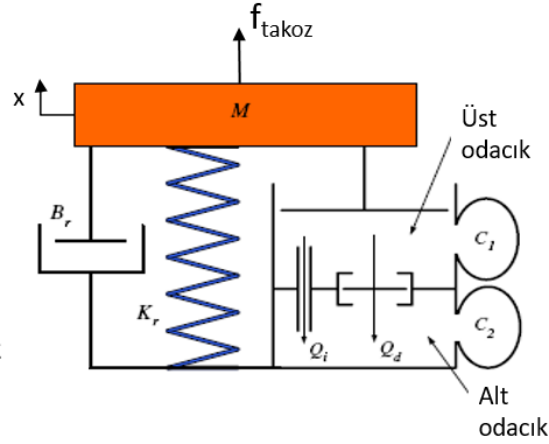


Şekil 1:

Referans alınan hidrolik motor takozunun kesiti (Kocabıçak ve Açar, 2024)

Hidrolik motor takozları için farklı tasarım yapıları söz konusu olmakla birlikte hepsinin çalışma prensibi benzerdir. Bu takozlarda, yoldan gelen ya da rölantide çalışan motordan kaynaklanan düşük frekanslı (1-50 Hz) ve yüksek genlikli (1-2 mm) titreşimlerde üst kauçuğun pompalama hareketi, ayırıcıyı kapatarak ayırıcı etrafındaki akışı sonlandırır ve akışı iç kanal aracılığıyla gönderir. Belirli bir kesit alanına ve uzunluğa sahip iç kanal aracılığıyla olan kısıtlı akış sönümleme katsayısını arttırır. Yüksek frekanslı (30–200 Hz) ve düşük genlikli (0.005–0.5 mm) titreşimlerde ise ayırıcı açık kalır, akışkan iç kanal yerine ayırıcının etrafından geçer ve bu nedenle de hidrolik takoz kauçuk takoz gibi davranır. Sonuç olarak, hidrolik motor takozlarında küçük genlikli uyarılarda akışkan daha düşük dirençli ayırıcıdan geçerken düşük sönümleme kuvveti, yüksek genlikli uyarılarda daha yüksek dirençli olan iç kanaldan geçerken yüksek sönümleme kuvveti elde edilmektedir (Christopherson ve diğ., 2005, Shangguan ve Lu, 2004).

Hidrolik motor takozunun fiziksel şeması Şekil 2’ de verilmektedir. Hidrolik motor takozu gelen uyarılara (x) karşılık sönümleme kuvveti (f_{takoz}) üretir. Kauçuk malzemenin sönümüne (B_r) ve yaylılığına (K_r) ilave olarak hidrolik motor takozlarındaki akışkan hareketi de takozun sönümleme özelliklerine etki etmektedir. Takoz uyarıldığında alt ve üst odacık arasındaki basınç farkı akışkan hareketine neden olur. Odacıklar arasındaki akışkan hareketi titreşim genliğine bağlı olarak iç kanal (Q_i) yada ayırıcı üzerinden (Q_d) gerçekleşmektedir ve akışkan debileri üst ve alt odacık kapasitelerine (C_1 ve C_2) bağlıdır. Hidrolik motor takozu akışkan ile doldurulmadığında takozun dinamik davranışı üzerinde akışın etkisi olmadığı için takozun dinamik davranışı kauçuk malzemenin özelliklerine bağlıdır ve takoz konvansiyonel takoz olarak ele alınabilir.



Şekil 2:
Hidrolik motor takozu fiziksel modeli (Christopherson ve diğ., 2012)

Hidrolik motor takozları süreklilik ve momentum denklemleri analiz edilerek modellenebilir (Marzbani ve diğ., 2014, Christopherson ve Jazar, 2005). Takoz lineer olarak modellendiğinde frekans cevabı analizi için sisteme sinüzoidal konum girişi ($x = X \sin(\omega t)$) uygulanırsa kalıcı durum halinde takozdan belli bir faz gecikmesi ile sinüzoidal sönümlleme kuvveti ($f_{\text{takoz}} = F_{\text{takoz}} \sin(\omega t + \phi)$) elde edilir. Sistemin transfer fonksiyonunda $s=j\omega$ yazarak takozun frekans cevabı transfer fonksiyonu, $G(j\omega)$ aşağıdaki şekilde elde edilir. $G(j\omega)$ 'nin genliği takozun dinamik direngenliği (K_d) ve $G(j\omega)$ 'nin faz açısı da takozun faz açısıdır (ϕ).

$$G(j\omega) = \frac{F_{\text{takoz}}(j\omega)}{X(j\omega)} \quad (1)$$

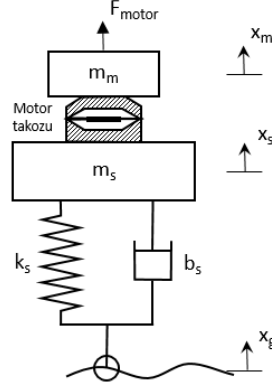
$$K_d = |G(j\omega)| = \frac{F_{\text{takoz}}}{X} \quad (2)$$

$$\phi = \angle G(j\omega) \quad (3)$$

Dinamik direngenlik, K_d (N/mm) takozun değişken frekanslı bir yük altında direnç gösterme yeteneğidir ve (2) nolu denklemden görüldüğü gibi uygulanan titreşim genliği ve frekansa bağlı olarak değişir. Faz açısı, ϕ ($^\circ$) malzemenin elastik olmayan davranışını ifade eder ve (3) nolu denklemden görüldüğü gibi frekansa bağlı olarak değişir. Kauçuklarda kayıp açısı, bir titreşim veya salınım sırasında enerjinin ne kadar etkin bir şekilde sönümlendiğini veya emildiğini belirlemek için önemli bir parametredir. Faz açısı değeri arttıkça takozun sönümlleme değeri de artar (Kocacı ve Açar, 2024, Yu ve diğ. 2001, Koch ve diğ., 2015).

3. ÇEYREK TAŞIT MODELİ

Motor takozunun dahil edildiği çeyrek taşıt modeli Şekil 3' de verilmiştir. Bu modelde tekerlek maddesel nokta olarak dikkate alınarak takozun süspansiyon sistemi üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 3:
Çeyrek taşıt modeli fiziksel şeması

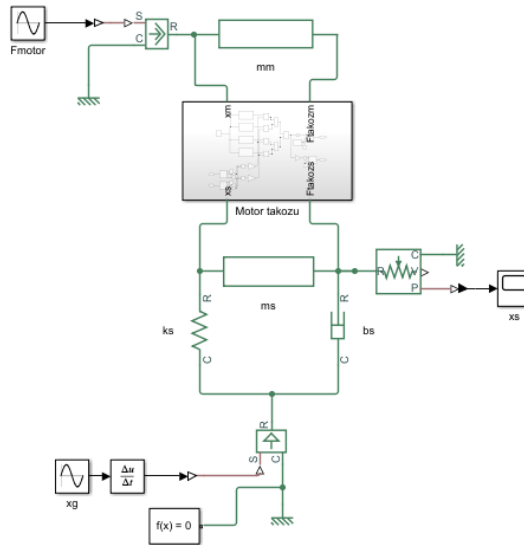
Şekil 3’ de verilen çeyrek taşıt modelinin hareket denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$m_m \ddot{x}_m = F_{motor} + F_{takoz} \quad (4)$$

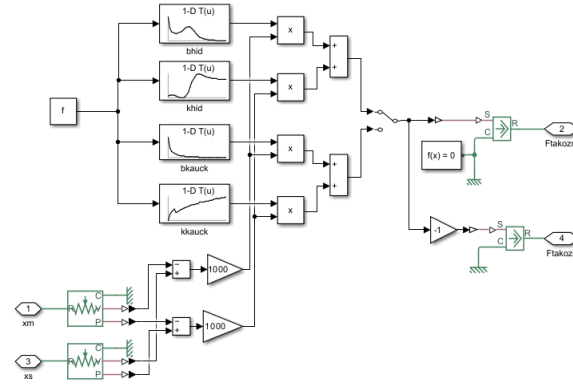
$$m_s \ddot{x}_s = k_s (x_g - x_s) + b_s (\dot{x}_g - \dot{x}_s) - F_{takoz} \quad (5)$$

Burada m_s : taşıt kütlesi (kg), m_m : motor kütlesi (kg), F_{motor} : motor kuvveti (N), F_{takoz} : Takoz kuvveti (N), k_s : süspansiyon yay katsayısı (N/m), b_s : amortisör sönüm katsayısı (Ns/m), x_g : taşıta yoldan gelen uyarı (m), x_m : motor titreşim genliğidir (m).

Şekil 4’ de motor takozunu içine alan çeyrek taşıt sisteminin MATLAB/Simscape modeli verilmiştir. Motor takozu alt modelinde takozlara ait deneysel veriler kullanılarak motor takoz kuvveti hesaplanmış ve bu kuvvet motor ve taşıt gövdesine etki ettirilmiştir (Şekil 5). Motor kuvveti 100 N olarak belirlenmiş (Kim, 1982) ve 100 Hz titreşim frekansında $F_{motor}=100\sin(2\pi 100t)$ olarak modele uygulanmıştır. Buna göre yol girdisine karşılık taşıt gövdesindeki konum incelenmiş, takozdaki akışkanın titreşim sönümlenme üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 4:
Motor takozunu içine alan çeyrek taşıt modeli



Şekil 5:
Motor takozu alt modeli

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada referans olarak ele alınan hidrolik motor takozu içine akışkan doldurularak ve doldurulmadan Tablo 1’ de verilen test koşullarında test edilmiştir. Testler için MTS 831.50 marka 1000 Hz frekans kapasiteli servohidrolik elastomer test cihazı kullanılmıştır (Şekil 6) (Kocabiçak ve Açar, 2024). Yüksek genlik ve düşük frekanslarda istenen sönüm özelliklerini tespit etmek için Tablo 1’ de verilen 1 numaralı test koşulu, düşük genlik ve yüksek frekanstaki sönüm özelliklerini tespit etmek için de 2 numaralı test koşulu test cihazı ile takozlara uygulanmış, dinamik direnç ve faz açısı grafikleri elde edilmiştir.

Tablo 1. Takozlara uygulanan test koşulları

	Test 1	Test 2
Genlik	± 1 mm	± 0.05 mm
Ön yük	750 N	750 N
Frekans Aralığı	1-30 Hz	1-50 Hz

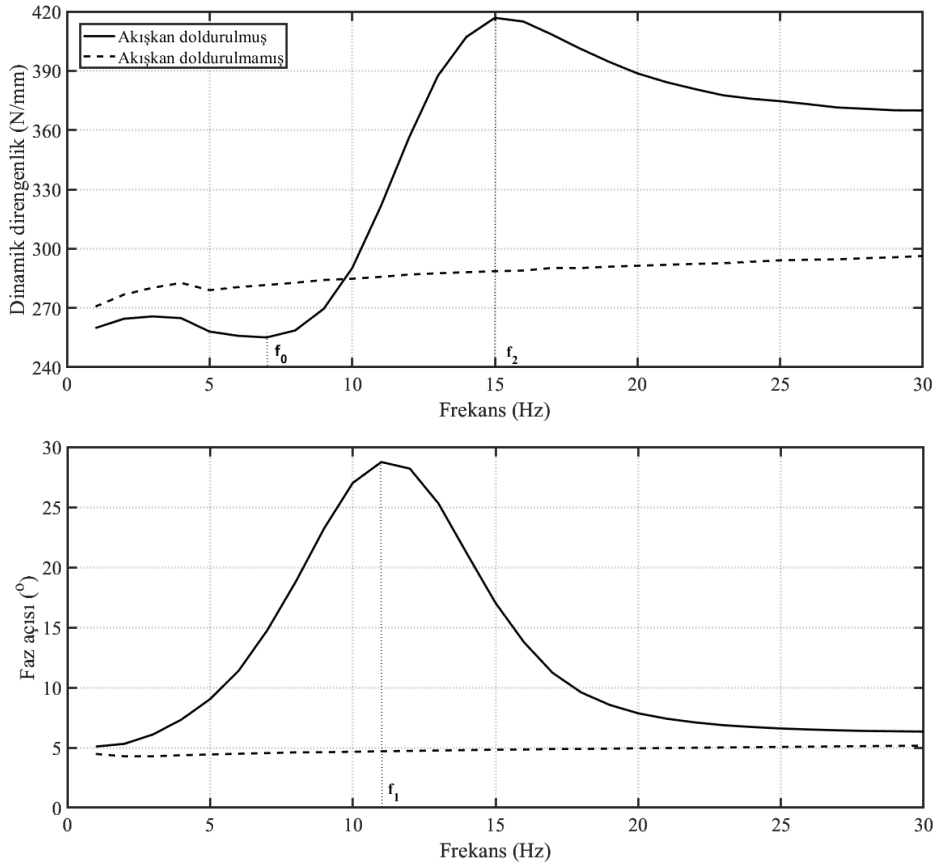


Şekil 6:
MTS 831.50 servohidrolik elastomer test cihazı (Kocabiçak ve Açar, 2024)

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

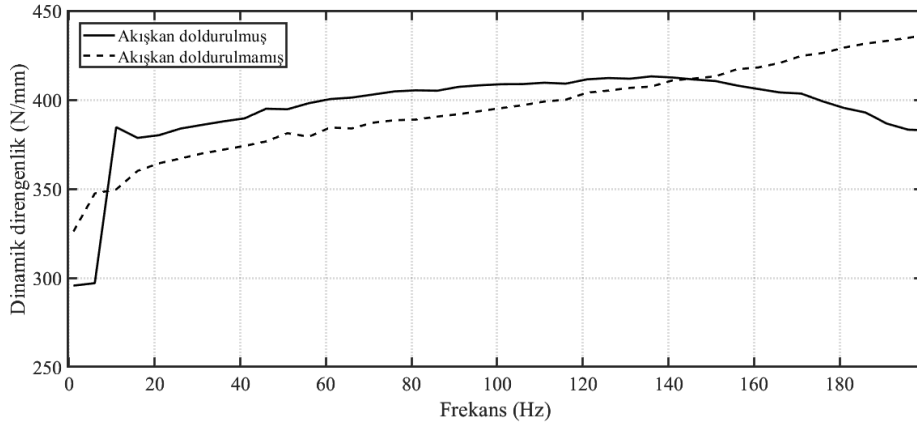
5.1. Deneysel sonuçlar

Şekil 7’ de Tablo 1’ de verilen Test 1 koşunda deneysel olarak elde edilen akışkan doldurulan ve doldurulmayan iki takoz için dinamik direnç ve faz açısı eğrileri verilmiştir. Konvansiyonel takoz olarak ele alınabilecek akışkan doldurulmayan takozun dinamik direnç ve faz açısı frekans arttıkça artmaktadır. Akışkan dolu hidrolik motor takozunda ise belli bir frekans değerine (f_0) kadar ayırıcı kapalıyken takozun yer değiştirmesi ile iç kanaldaki akış aynı fazdadır. Bu nedenle akışkan iç kanal aracılığıyla üst odadan alt odaya serbestçe geçer. Ancak frekans arttıkça iç kanal ile hareket eden akışkan ekstra bir sönümlenme oluşturur ve böylece dinamik direnç maksimum nokta olan rezonans frekansına (f_2) ulaşana kadar artar. f_0 ve f_2 frekans aralığında takozun yer değiştirmesi ile iç kanaldaki akışkan zıt fazda hareket etmektedir. Faz açısı grafiğinden görüldüğü gibi en yüksek sönümlenme f_0 ve f_2 frekansları arasında olan f_1 frekansında oluşur. Maksimum noktadan sonra sönümlenme değeri, kauçuk malzemenin doğal sönümlenme değerine kadar düşer (Şekil 7). Elde edilen dinamik direnç değerleri karşılaştırıldığında, akışkan dolu hidrolik takozun rezonans frekansında (f_2) akışkan doldurulmayan konvansiyonel yapıdaki takozla göre yaklaşık 1.5 kat daha sert davrandığı görülmektedir. Faz açısı değerleri karşılaştırıldığında ise rezonans frekansında (f_2) hidrolik takozun sönümlenmesinin konvansiyonel takozla göre yaklaşık 6 kat ve faz açısının tepe frekansında yaklaşık 3.5 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, hidrolik takozun motor rölanti frekansında veya yoldan gelen yüksek genlikli titreşimlerde daha iyi bir sönümlenme yapacağını göstermektedir.



Şekil 7:
Test 1 koşulunda dinamik direnç ve faz açısı eğrileri

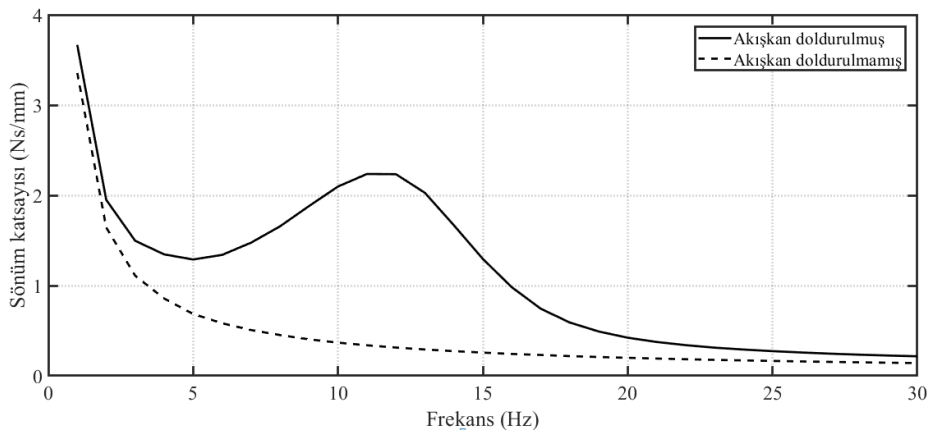
Şekil 8’ de akışkan doldurulan ve doldurulmayan her iki takoz için Test 2 koşulunda deneysel olarak elde edilen dinamik direngenlik değişimleri verilmiştir. Elde edilen dinamik direngenlik değerleri karşılaştırıldığında, her iki takoz yaklaşık 140 Hz frekans değerine kadar benzer özellik göstermişlerdir. Bu frekanstan sonra konvansiyonel takoz olarak ele alınabilecek akışkan doldurulmayan takozun dinamik direngenlik değeri artmaya devam ederken, takoz içinde kullanılan ayırıcı nedeni ile akışkan dolu hidrolik takozun dinamik direngenlik değeri düşmektedir. Bu da yüksek frekanslarda takozlardan istenen daha yumuşak titreşim izolasyonunu hidrolik takozun daha iyi sağladığını göstermektedir.



Şekil 8:
Test 2 koşulunda dinamik direngenlik eğrisi

5.2. Benzetim sonuçları

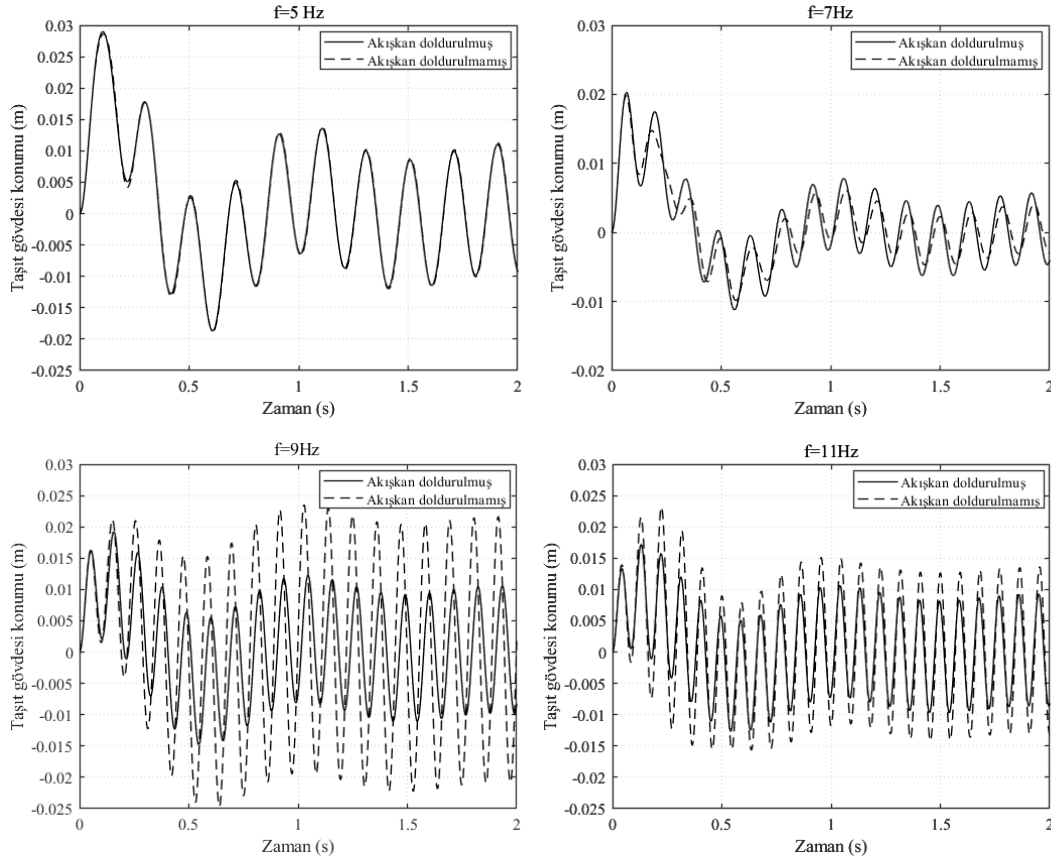
Şekil 7’ de deneysel olarak tespit edilen dinamik direngenlik ve faz açısı değerleri kullanılarak akışkan doldurulmuş ve doldurulmamış takoz için sönüm katsayıları frekansa bağlı olarak Şekil 9’ daki gibi hesaplanmıştır. Bu şekilde görüldüğü gibi yaklaşık 2-20 Hz frekans aralığında hidrolik motor takozlarındaki akışkan hareketi sönüm katsayısını etkilemektedir. 11 Hz frekans değerinde akışkan dolu takozda sönüm katsayısı akışkan doldurulmayan takozla göre yaklaşık 7 kat daha fazladır.



Şekil 9:
Takoz sönüm katsayıları

Frekansa göre değişen deneysel dinamik direngenlik değerleri ve deneysel sonuçlardan hesaplanan sönüm katsayısı değerleri çeyrek taşıt modeline eklenmiş ve akışkan doldurulan ve

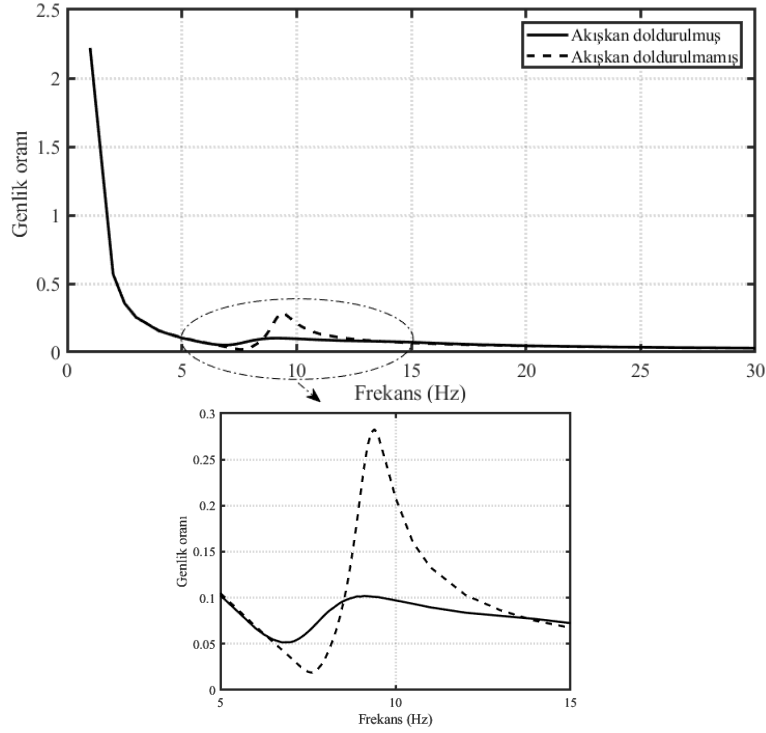
doldurulmayan takozların farklı frekanslarda süspansiyon sistemi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. $x_g(t) = 0.1\sin(2\pi ft)$ olarak ele alınan yol profili için akışkan doldurulan ve doldurulmayan takozla göre taşıt gövdesine iletilen titreşimler 5, 7, 9 ve 11 Hz için Şekil 10’ da verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi yoldan gelen 5 Hz’ lik titreşim frekansında akışkan doldurulan ve doldurulmayan takoz aynı davranışı göstermiştir. 7 Hz’ de akışkan doldurulmayan takoz kullanıldığında, 9 ve 11 Hz’ de ise akışkan doldurulan takoz kullanıldığında taşıt gövdesindeki titreşimlerin daha iyi sönümlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 10:

Farklı frekanslardaki yol girdilerinde taşıt gövdesi titreşimleri

Akışkan doldurulan hidrolik motor takozu frekansa bağlı olarak doğrusal olmayan bir davranış gösterdiğinden farklı frekanslarda sönümleme etkisi değişkenlik göstermektedir. 0-30 Hz frekans aralığında her iki takozda taşıt gövdesi titreşim genliğinin yol girdisi genliğine oranı olarak belirlenen genlik oranı değişimleri Şekil 11’ de verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi 6-13.5 Hz frekans aralığında akışkan doldurulan ve doldurulmayan takozlarda elde edilen genlik oranları farklılık göstermektedir. Bu frekans aralığı dışında kalan frekanslarda her iki takozda da elde edilen genlik oranları birbirine yakındır. 6-8.5 Hz aralığında akışkan doldurulmayan takoz kullanılması durumunda yoldan gelen titreşimler taşıt gövdesine daha düşük oranla iletilirken özellikle tekerleklerin maruz kaldığı frekans aralığı olan 8.5-13.5 Hz aralığında akışkan dolu hidrolik motor takozu taşıt gövdesine daha az titreşim iletilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak yol kaynaklı titreşimlerde hidrolik motor takozlarının konvansiyonel takozlara göre titreşim sönümleme etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 11:
Yol girdi frekansına karşılık titreşim genlik oranları

6. SONUÇ

Bu çalışmada referans olarak alınan bir hidrolik motor takozu içine akışkan doldurularak ve doldurulmadan düşük frekans aralığında (1-30 Hz) yüksek genlikte (± 1 mm) ve yüksek frekans aralığında (1-200 Hz) düşük genlikte (± 0.05 mm) test edilerek dinamik direngenlik ve faz açısı değerleri elde edilmiştir. Yüksek titreşim genliğinde elde edilen sonuçlardan akışkan doldurulan takozun rezonans frekansındaki dinamik direngenliğinin doldurulmayana göre yaklaşık 1.5 kat daha yüksek olduğu ve faz açısının da rezonans frekansında yaklaşık 3.5 kat, tepe frekansında ise yaklaşık 6 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Düşük genlikte (± 0.05 mm) elde edilen dinamik direngenlik değerleri karşılaştırıldığında akışkan doldurulan ve doldurulmayan takozun yaklaşık 140 Hz frekans değerine kadar benzer özellik gösterdiği ancak 140 Hz' den sonra akışkan doldurulmayan takozun dinamik direngenlik değerinin arttığı, akışkan doldurulan takozun dinamik direngenlik değerinin düşmeye başladığı belirlenmiştir.

Çalışmanın devamında yol kaynaklı titreşimlerin taşıt gövdesine iletimi durumunda akışkan doldurulan ve doldurmayan takoz kullanımının titreşim sönümlerine üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla çeyrek taşıt modeli Simscape ortamında oluşturulmuş ve her iki takoz için elde edilen deney verileri bu modele dahil edilmiştir. Model ile farklı frekanstaki yol girdilerine karşılık taşıt gövdesinin titreşim genlik oranları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan 6-13.5 Hz frekans aralığında akışkan etkisinin ortaya çıktığı bunun dışındaki frekanslarda her iki takozun da benzer özellikler gösterdiği görülmüştür. 6-8.5 Hz frekans aralığında akışkan doldurulmayan takozda genlik oranları daha düşükken, 8.5-13.5 Hz frekans aralığında akışkan doldurulan takozda genlik oranları daha düşük olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak tekerleklerin maruz kalabileceği yol kaynaklı titreşim frekanslarında hidrolik motor takozlarının konvansiyonel takozlara göre süspansiyon sistemine daha yüksek oranda katkı sağladığı sonucuna varılmıştır. Sonraki çalışmalarda farklı takoz tipleri için elde edilecek deney verileri daha kapsamlı bir model üzerinde uygulanarak çalışma genişletilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazar, deneysel çalışmaların yürütüldüğü Bayrak Lastik A.Ş. firmasına katkılarından dolayı teşekkürlerini sunmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadır.

YAZAR KATKISI

Çalışmanın tüm süreçleri yazar Zeliha Kamış Kocabıçak tarafından yürütülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Açar Z. ve Kocabıçak, Z. K. (2023) Konvansiyonel ve hidrolik motor takozlarının sönümleme özelliklerinin karşılaştırılması, *11th International Congress on Engineering, Architecture and Design*, İstanbul, 1511.
2. Ahn, Y. K., Song, J. D. ve Yang, B. (2003) Optimal design of engine mount using an artificial life algorithm, *Journal of Sound and Vibration*, 261(2), 309-328. doi:10.1016/S0022-460X(02)00989-6
3. Ahn, Y. K., Song, J. D., Yang, B., Ahn, K. K. ve Morishita, S. (2005) Optimal Design of Nonlinear Hydraulic Engine Mount, *Journal of Mechanical Science and Technology (KSME Int J)*, 19(3), 768-777. doi:10.1007/BF02916125
4. Christopherson, J. ve Jazar, G. N. (2005) Optimization of classical hydraulic engine mounts based on RMS method, *Shock and Vibration*, 12(2), 119-147. doi:10.1155/2005/653945
5. Christopherson, J. ve Jazar, G. N. (2006) Dynamic behavior comparison of passive hydraulic engine mounts. Part 1: Mathematical analysis, *Journal of Sound and Vibration*, 290(3-5), 1040-1070. doi:10.1016/j.jsv.2005.05.008
6. Christopherson, J., Manifalah, M. ve Jazar R.N. (2012) Suspended Decoupler: A New Design of Hydraulic Engine Mount, *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012, 11. doi:10.1155/2012/826497
7. Fallahi, F., Shabani, R., Rezazadeh, G. ve Tariverdilo, S. (2021) A modified design for hydraulic engine mount to improve its vibrational performance, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235(23), 6724-6736. doi:10.1177/09544062211000081
8. Garmaroudi M. A. ve Mosayebi, J. (2017) Design and Optimization of Engine Mount, *International Journal on Energy Conversion (IRECON)*, 5(4), 112-121. doi:10.15866/irecon.v5i4.13754
9. Geisberger, A., Khajepour, A. ve Golnaraghi, F. (2002) Non-linear modelling of hydraulic mounts: theory and experiment, *Journal of Sound and Vibration*, 249(2), 371-397. doi:10.1006/jsvi.2001.3860
10. Hung, T. T., Quynh, L. V., Ha, D. V., Huan, C. C., Cuong, B. V. ve Tan, H. A. (2021) A comparison of vehicle ride comfort performance of hydraulic engine mount system with rubber engine mount system, *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(23), 2610-2619.

11. Kim, G. (1992). Study of Passive and Adaptive Engine Mounts, *Doktora Tezi*, UMI A Bell & Howell Company, Ann Arbor.
12. Liu, Y., Guan, X., Lu, P. ve Guo, R. (2021) Simulation research on dynamic characteristics of hydraulic mount, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 34(49), 1-9. doi:10.1186/s10033-021-00571-6
13. Marzbani, H., Jazar, R. N. ve Fard, M. (2014) Hydraulic engine mounts: a survey, *Journal of Vibration and Control*, 20(10), 1439-1463. doi:10.1177/1077546312456724
14. Rasekhipour, Y. ve Ohadi, A. (2011) Optimization of hydraulic engine mounts through simplified and full vehicle models, *Proceedings of the World Congress on Engineering-WCE 2011*, London, U.K.
15. Shangguan W. ve Lu, Z. (2004) Experimental study and simulation of a hydraulic engine mount with fully coupled fluid-structure interaction finite element analysis model, *Computers and Structures*, 82(22), 1751-1771. doi:10.1016/j.compstruc.2004.05.017
16. Kocabicak, Z. K. ve Acar, Z. (2024) Taguchi-based grey relational analysis on multiple damping characteristics of a hydraulic engine mount, *Arabian Journal for Science and Engineering*, doi:10.1007/s13369-024-09510-8
17. Koch, P., Angrick, C., Beitelshmidt, D., Prokop, G. ve Knauer, P. (2015) Influence of Rubber Temperature on Transfer Functions of Bushings, *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 8(4), 1209-1217. doi:10.4271/2015-01-9115
18. Vahdati, N., Alteneiji, A., Yap, F.F. ve Shirayev, O. (2024) Amplitude-sensitive single-pumper hydraulic engine mount design without a decoupler, *Applied Sciences*, 14(2568), 1-23. doi:10.3390/app14062568
19. Yu, Y., Naganathan, N. G. ve Dukkipati, R. V. (2001) A literature review of automotive vehicle engine mounting systems, *Mechanism and Machine Theory*, 36(1), 123-142. doi:10.1016/S0094-114X(00)00023-9
20. Zhang, Y., Shangguan, W. ve Fang, Z. (2009) Parameter identifications of the hydraulic mount, *International Technology and Innovation Conference 2009 (ITIC 2009)*, Xi'an, China. doi:10.1049/cp.2009.1452.