



KINETIC ENERGY RECOVERY FROM VEHICLE SUSPENSIONS

İbrahim Can^{1,a}, İlyas Güldeş^{2,b}

¹ Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

² Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 12/11/2022

Accepted: 12/11/2022

ABSTRACT

Vibrations caused by roughness on the road in road vehicles are damped by shock absorbers. Conventional shock absorbers convert the vertical kinetic energy of the vehicle into heat energy and give it to the atmosphere. When the literature is examined, it is observed that there is an increasing interest in suspension-based kinetic energy recovery systems to recover the energy thrown into the atmosphere in traditional systems. In traditional systems, it is difficult to store this energy because the vertically generated kinetic energy is converted into heat energy. For this reason, the energy to be obtained should be easily stored and used in the vehicle when needed. For this purpose, the pressurized gas obtained by using a double-acting pneumatic shock absorber for vertical kinetic energy absorption was transferred to a turbine generator pair, converted into electrical energy and stored in the vehicle's battery. Thus, it is planned to increase the overall efficiency of the vehicle. As a result of the study, positive results were obtained and discussed.

Key Words: Kinetic energy, Vehicle suspensions, Pneumatic cylinder

TAŞIT SÜSPANSİYONLARINDAN KİNETİK ENERJİ GERİ KAZANIMI

Süreç

Geliş: 12/11/2022

Kabul: 15/12/2022

ÖZ

Seyir halinde olan karayolu taşıtlarında yoldaki pürüzlerin sebep olduğu titreşimler amortisörler tarafından sönmölenmektedir. Geleneksel amortisörler taşıtın dikey yönde meydana gelen kinetik enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek atmosfere verir. Literatür incelendiğinde geleneksel sistemlerde atmosfere atılan enerjinin geri kazanılması için süspansiyon tabanlı kinetik enerji kazanım sistemlerine ilginin arttığı gözlenmektedir. Geleneksel sistemlerde dikey yönlü oluşan kinetik enerji ısı enerjisine dönüştüğü için bu enerjiyi depolamak güçtür. Bu sebeple elde edilecek enerjinin kolay depolanabilir ve ihtiyaç halinde taşıtta kullanılabilir olması gerekmektedir. Bu amaçla çalışmada dikey yönlü kinetik enerji sönmölemesi için çift tesirli pnömötik bir amortisör kullanılarak elde edilen basınçlı gaz bir türbin jeneratör ikilisine aktarılarak elektrik enerjisine dönüştürülerek ve taşıtın bataryasında depolanmıştır. Böylece taşıtın toplam verimliliği artırılması planlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda olumlu sonuçlar elde edilerek tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kinetik enerji, Araç süspansiyonu, Pnömötik silindir

License



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

23.ibrahim@googlemail.com.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-4774-3744>

ilyasguldes@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2662-3209>

How to Cite: Can I, Guldes I. (2022) Kinetic Energy Recovery from Vehicle Suspensions, Journal of Science and Technology, 1(1): 34-39.

Giriş

Otomobil imalatçıları ve kullanıcılarının bir otomobilden beklentileri listelendiğinde güvenlik, konfor ve performans listenin üst sıralarında yer almaktadır. Taşıtlarda konforu sağlamak için geliştirilen süspansiyon sistemlerinden beklenti, yoldan gelen darbeleri taşıt gövdesine iletmeden üzerine alan ve süspansiyon sistemi üzerinde biriken enerjiyi taşıt gövdesini sarsmadan sönmüleyen bir süspansiyon düzeneği oluşturmaktır. Son yıllarda yol şartlarına ve sürüş özelliklerine göre kendini ayarlayabilen aktif (Elektronik) kontrollü süspansiyon sistemlerine odaklanılmaktadır. Konfor ve güvenlik sistemlerinin yanı sıra taşıt üreticileri ve araştırmacıları, günümüzde çevre bilincinin artması, fosil yakıt kaynaklı atmosfere salınan kirletici emisyonlara getirilen sınırlandırmalar ve bu yakıtlara ulaşmanın gittikçe zorlaşmasından dolayı elektrikle çalışan taşıtlar yapmaya yönelmişlerdir. Ancak elektrikli taşıtların yaygınlaşması ile ilgili pek çok problem vardır. Elektrikli taşıtların yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerin başında yeterli elektrik enerjisinin depolanamaması ve şarj süresi yer almaktadır. Karşılaşılan problemlerin çözümü için literatürde taşıtların yavaşlaması veya durması sırasında açığa çıkan frenleme enerjisi, otomobilin ataletinden kaynaklı kinetik enerji ve süspansiyon sisteminde oluşan kinetik enerji gibi atıl enerji çeşitlerinin geri kazanılması ve faydalı enerjiye dönüştürülmesi gibi çalışmalar oldukça fazladır.

Kara taşıtlardaki kütleler, süspansiyonlu kütleler (tahrik sistemi, yürür aksam ile üst yapı elemanları) ve süspansiyonsuz kütleler (fren sistemi, tekerlekler ile aks milleri) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır[1]. Düzgün olmayan yollarda, taşıtlar hareket halindeyken; üst yapı elemanları hız, yük ve yol koşullarına bağlı olarak ve yerçekimi kuvvetlerinin de etkisiyle, aracın ağırlık merkezine göre ön ve arkası aşağı/yukarı (sarsıntı) ve aracın gövdesi tümüyle aşağı/yukarı (zıplama) hareket etmektedir. Ancak bu hareketler, taşıtın güvenliğini ve konforunu olumsuz etkilemekte ve taşıt yapı elemanlarının aşırı zorlanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple taşıtlarda süspansiyon ve titreşim sönmüleme sistemleri kullanılmaktadır. Süspansiyon ve titreşim sönmüleme sistemleri düşey doğrultuda var olan kinetik enerjiyi ortadan kaldırarak aracın hareketlerini sabitleştirir[2]. Son dönemlerde taşıtlardan konfor ve güvenlik beklentileri yükselince süspansiyon sistemleri konusunda çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmalar teorik, deneysel ve bilgisayar benzeştirmeleri şeklinde sınıflandırılabilir. Ancak bu çalışmalar incelendiğinde anlaşıldığı üzere, günümüze kadar süspansiyon sistemlerinin konfor ve güvenlik açısından geliştirilmesi için çaba sarf edilmiştir. Süspansiyon ve titreşim sönmüleyici sistemlerden enerji geri kazanımı konusunu inceleyen çok az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır.

B. Huang ve arkadaşları, enerji elde edebilme yeteneğine sahip DC motor jeneratörlü bir süspansiyon sistemi geliştirmiş ve geliştirdikleri modeli çeyrek araba modelinde deneyerek sistemin optimum tasarımı için bir analitik yöntem önermiştir. Test sonuçlarının sistem performansının optimalitesinin belirlenmesinde güvenilir olduğunu göstermiştir [3]. D. Shi ve arkadaşları, hibrit

elektrikli taşıtlarda yakıt ekonomisi ve enerji geri kazanımı ile aktif süspansiyonun etkilerini araştırdıkları çalışmalarında süspansiyon sisteminden elde edilen enerji geri kazanımının, hibrit taşıtlarda enerji tasarrufu sağlamak için yeni yöntemlerden biri olduğunu belirtmiştir [4]. K.V. Reddy ve arkadaşları, çift salıncaklı Mac Pherson süspansiyon sistemlerinin kapsamlı kinematik analizini yaptıkları çalışmalarında yol düzensizliğinden tekerlek ve süspansiyon sistemine gelen hareketlere karşı süspansiyon mekanizmasının kinematik tepkisini formüle ederek hesaplamışlardır [5]. M. Montazeri ve M. Mahmoodi, hibrit taşıtlar ve yeni bir güç yönetimi stratejisi üzerine yaptıkları araştırmada, sera gazı emisyonu ve yakıt tüketimini azaltmak için geliştirilen hibrit taşıtlarda enerji yönetim sistemi ve kontrol stratejilerinin performans üzerine etkilerini belirlemişlerdir [6].

Literatür incelendiğinde bu konuda farklı bakış açısı ve yeniliğin ortaya konulduğu görülmektedir. Bu çalışmada, pnömatik silindir, valf akışı, akışkanın hacimsel değişimi, akümülatör düzleştirilmesi, türbin-jeneratör ikilisinin özelliklerinin etkilerini tam olarak dikkate alan kapsamlı ve doğru bir rejeneratif pnömatik amortisör sistemi modeli önerilmiştir. Sistemin parametre tanımlamaları, sistemin doğru bir şekilde modellenmesi için kullanılır, önerilen model daha sonra farklı uyarımlar ve yük dirençleri altında da doğrulanabilir. Daha sonra sistem kapasitesinin etkileri, tüm sistemin titreşimi açısından değerlendirilir ve son olarak, taşıt yükü ve sistem kapasitesi geleneksel bir hidrolik amortisör için asimetrik sönmüleme özellikleri elde edilir.

Deneysel Çalışma

Yapılan bu çalışmada hareket halindeki taşıtların süspansiyon sisteminden kinetik enerji geri kazanımının deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır. Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğunda taşıt, simetrik düşünülüp dörtte bir modellenmiştir. Elde edilen model çeyrek taşıt modeli olarak ele alınır. Bu model çok basit olması ve taşıt titreşimleri konusunda yeterli bilgi vermesi açısından taşıt titreşimlerinin incelenmesinde önemli bir yere sahiptir [7]. Deney setinde aracın yaklaşık dörtte bir ağırlığını taşıyacak bir sistem tasarlanmıştır. Deney setinde pürüzlü yol modeli oluşturulmuş ve tekerleğin zamana bağlı düşey hareketlerinin değişimi grafik üzerine aktarılarak taşıtta kullanılan geleneksel amortisörün titreşimleri ve enerjiyi sönmüleme grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra süspansiyon sisteminde kullanılan amortisörün yerine pnömatik silindir bağlanarak yol yüzeyinden gelen etkilerle tekerleğin düşey eksenindeki salınım hareketinden basınçlı hava elde edilmiştir. Elde edilen basınçlı hava bir türbin kanatlarına çarptırılarak türbin milini harekete geçirmektedir. Türbin miline bağlı olan jeneratör ile elektrik enerjisi elde edilmiştir. Pnömatik silindirlerin amortisör etkisi ve tekerleğin düşey eksenindeki hareketlerinin zamana bağlı değişimleri ölçülerek pnömatik silindir titreşimleri sönmüleme kabiliyetinin amortisörle kıyaslanması yapılmıştır. Yapılan bu ölçme işlemi Ø 50 mm lik pnömatik silindir için farklı tekerlek hızlarında tekrarlanarak kıyaslama işlemleri yapılmıştır.

Çalışma da hareket halindeki taşıtların yol koşullarından kaynaklanan ve dikey yönde süspansiyon sisteminde açığa çıkan kinetik enerjinin; Şekil 1'de gösterilen yeni tasarlanmış kinetik enerji geri kazanım sistemi ile farklı taşıt hızlarında (40 ve 50, km/h) meydana gelen kayıp enerjilerin faydalı hale dönüştürülmesini amaçlamaktadır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi deneysel çalışmanın temelini oluşturan deney seti oluşturularak amortisör yerine kullanılacak pnömatik silindir, türbin jeneratörün deney düzeneğine bağlanabilmesi için uygun aparatların imalatı yapıp montajı tamamlanmıştır.

Pnömatik silindirden elde edilen basınçlı havanın hareket enerjisine dönüştürülmesi için Şekil 2 b'de görüldüğü gibi çift tesirli pnömatik silindirler çek valf, hız ayar valfi, bağlantı rekorları ve hortumları ile bir türbin kullanılmıştır.


Bulgular


Yapılan deneyler de tekerlek hızı 40 km/h 50 km/h olarak seçilmiştir ve amortisör 50 mm çapında pnömatik silindir için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.


Deneylerin her birinin yapılmasında tekerlek hızı, motor sürücüsünün frekans değeri değiştirilerek ayarlanmış ve hız stabil hale geldiğinde tekerlek kasile karşılaştırılarak süspansiyon sisteminin çalışması sağlanmıştır. Bu çalışma esnasında osiloskopa tekerleğin salınım hareketi grafiğe dönüştürülmüş ve aynı zamanda elde edilen elektriksel değerler ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bunların yanı sıra vibro metre ile sistemin kararlı çalışması esnasında deney setinin şasisinde meydana gelen sarsıntılar yer değiştirme miktarı tespit edilerek kayıt altına alınmıştır. Pnömatik silindirlerin ürettiği havanın hızı ve ısı ile ortam ısı anemo metre ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Deneylerin her biri yapılırken kasili yol modeli başlangıç noktasına getirilerek, mesafe ölçüm sensörünün aynı konumdan ölçüm yapmaya başlaması sağlanmıştır.

Ölçüm sonuçlarının grafiğe aktarılmasında:

Tekerleğin yaptığı salınım grafiği sarı () renkle,

Elde edilen enerji mavi () renkle,

Süspansiyon sisteminin taşıt gövdesine olan etkisi ise kırmızı () renkle ifade edilmiştir.

Deney setinde tekerlek kasise çıkmaya başladığı nokta ile kasisten inip düz zemine bastığı nokta arasında 62,6 cm yol almaktadır. Amortisör salınım deneyinde 40 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonra tekerlek 132,15 cm yol kat edene kadar şekil 6'da görüldüğü gibi amortisör salınım yapmış ve bu mesafe sonunda amortisör normal boyutuna dönmüştür. Aynı şekilde amortisör; 50 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonraki salınımını 109,55 cm sonra

tamamlayıp normal boyutuna dönmüştür. 50 mm çapındaki pnömatik silindiri sistemlerde ise 40 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonra 66,38 cm salınım hareketi yapıp sistem düzgün hareketine devam etmiştir ve 50 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonra 141,38 cm salınım hareketi yapıp sistem düzgün hareketine devam etmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde taşıt hızlarına bağlı olarak hem amortisörde hemde pnömatik sistemlerde zıplama miktarının arttığı gözlenmiştir. Bu da taşıt dinamiği açısından olağan bir durumdur. Ancak pnömatik silindirler ile amortisörlerin zıplama miktarları karşılaştırıldığında pnömatik silindirlerde %12'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu fark çek valfler ile giderilebileceği gibi literatürle karşılaştırıldığında konfor parametreleri için çok anlamlı değildir.

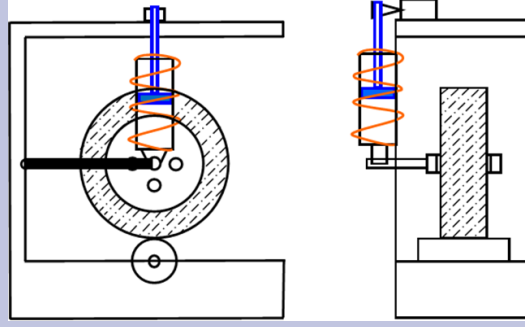
Tablo 2'de hızlara göre elde edilen hava miktarı ve buna bağlı olarak geri kazanılan enerji miktarı verilmiştir. Tabloya göre 50 km/h hızda enerji geri kazanım miktarı daha fazla olmuştur. Bu durum taşıt hızı ile yoldaki pürüzlülüğün taşıt dinamiğine etkisinin doğru orantılı olduğu bilindiğinden dikey yöndeki kinetik enerji artışına bağlı olarak enerji geri kazanımının fazla olması olarak izah edilebilir.

Sonuç

Tablo 2'de yapılan deneyler ve ölçümler 40 ve 50 km/h hızlarda hareket eden taşıt için testler yapılmıştır. Her iki hızda da orijinal amortisör ile 50 mm'lik pnömatik silindir kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar taşıt kararlılığı göz önünde bulundurularak hem konfor hem de enerji geri kazanımı açısından tartışılmıştır. Bulgular bölümündeki şekiller incelendiğinden de taşıt gövdesinin zıplama hareketi amortisör ve pnömatik silindir için her iki hızda da kabul edilebilir çıktığı tespit edilmiş hatta pnömatik silindir kullanımında elektro kontrollü valfler kullanılması durumunda konfor parametresi yol ve hız durumuna bağlı olarak dinamik kontrol edilerek sürekli stabilizasyon sağlanabilecektir. Enerji geri kazanımı konusunda ise hız arttıkça elde edilen enerji miktarının arttığı tespit edilmiştir. Sistem üzerine iyileştirmeler yapılarak elektrikli ve hibrit araçlar için süspansiyon aracılığı ile taşıtın dikey kinetik enerji geri kazanımının menzil artışından söz etmek mümkündür.

Destekleyen Kuruluş

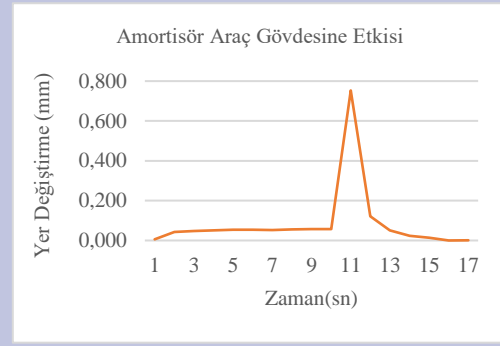
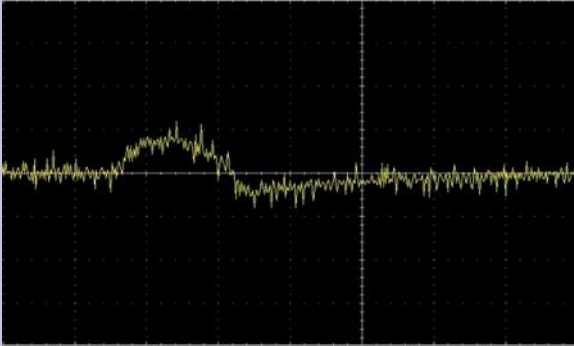
Bu Çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi BAP tarafından tekno-013 proje numarası ile desteklenmiştir.



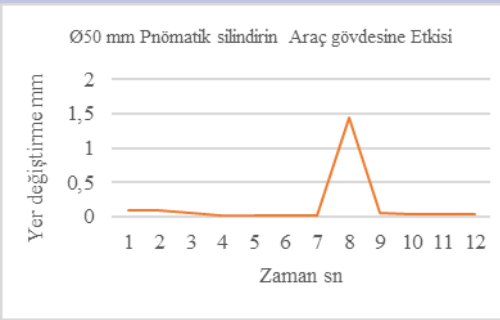
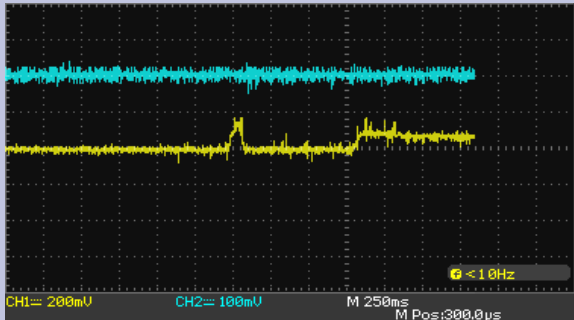
Şekil 1. Yeni tasarlanan KERS deney düzeneği görünüşü
Figure 1. Newly designed KERS experimental rig view



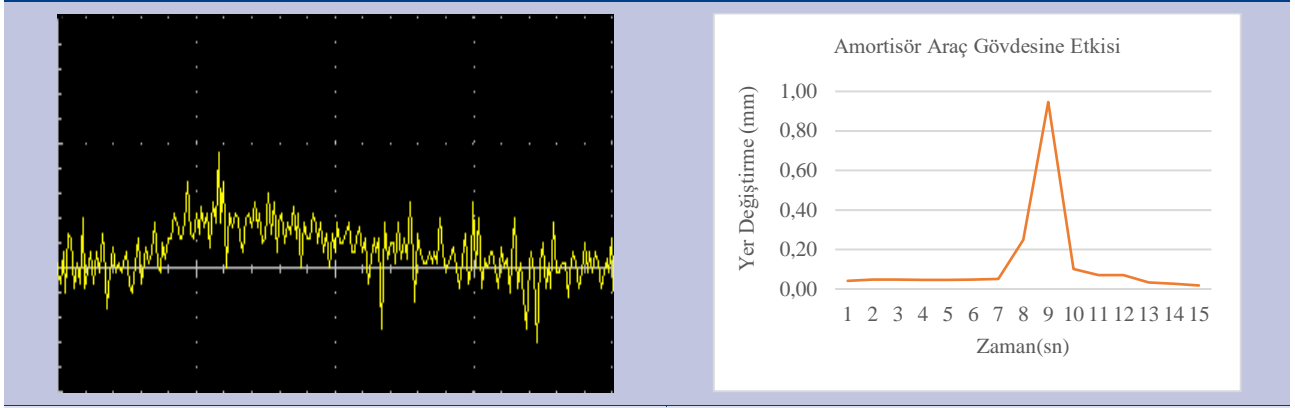
Şekil 2. Deney setinin görünümü
Figure 2. Appearance of the experimental set



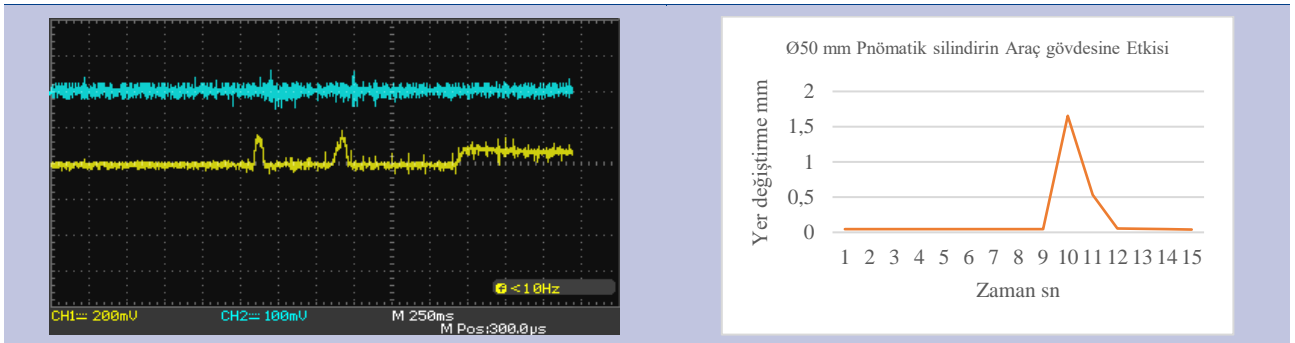
Şekil 3. Ø50 mm Amortisörün sistem 40 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi
Figure 3.



Şekil 4. Ø50 mm Pnömatik silindirli sistem 40 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi
Figure 4. The effect of Ø50 mm Shock Absorber on the system 40 km/h speed, electric gain, wheel oscillation and vehicle body



Şekil 5. Ø50 mm pnömatik silindirli sistem 40 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi
Figure 5. System with Ø50 mm pneumatic cylinder Electricity gain at 40 km/h, wheel oscillation and its effect on the vehicle body



Şekil 6. Ø50 mm pnömatik silindirli sistem 50 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi
Figure 6. Ø50 mm pneumatic cylinder system. Electricity gain at 50 km/h, wheel oscillation and its effect on the vehicle body.

Tablo 1. Taşıt gövdesinin düşey eksenindeki zıplama miktarı

Hız km/h	Kullanılan sistem	Zıplama Miktarı (mm)
40	Amortisör	0,953
	Pnömatik Silindir	1,137
50	Amortisör	0,996
	Pnömatik Silindir	1,154

Tablo 2. Hıza ve silindir çapına bağlı elde edilen elektrik enerjisinin özellikleri

Silindir Çapı mm	Tekerlek Hızı (km/h)	Hava Hızı (m/sn)	Elde edilen gerilim (mV)	Elde edilen gerilim V	Elde edilen güç mW
50	40	2,58	80	0,08	0,016
50	50	4,17	120	0,12	0,037

Kaynaklar

- [1] Url-1 "http://www.audi.com.tr/tr/brand/tr/Efficiency/efficiency_technologies_recuperation.html", alındığı tarih: 29.06.2017.
- [2] Url-2 "http://www.skf.com/group/investors/press-releases/skf-cooperates-volvo-evaluate-industrialization-flywheel-systems", alındığı tarih: 30.06.2017.
- [3] Huang, B., Hsieh, C. Y., Golnaraghi, F., & Moallem, M. (2015). Development and optimization of an energy-regenerative suspension system under stochastic road excitation. Journal of Sound and Vibration, 357, 16-34.
- [4] Shi, D., Pisu, P., Chen, L., Wang, S., & Wang, R. (2016). Control design and fuel economy investigation of power split HEV with energy regeneration of suspension. Applied Energy, 182, 576-589.
- [5] Reddy, K. V., Kodati, M., Chatra, K., & Bandyopadhyay, S. (2016). A comprehensive kinematic analysis of the double wishbone and MacPherson strut suspension systems. Mechanism and Machine Theory, 105, 441-470.
- [6] Montazeri-Gh, M., & Mahmoodi-k, M. (2015). Development a new power management strategy for power split hybrid electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 37, 79-96.

[7] Uri-3

"<https://www.audi.com.tr/tr/web/tr/modeller/layer/teknoloji/enerji-geri-kazanimi.html>" alındığı tarih:
29.06.2017