

Taşıt Vites Kutularında Kademe Artışının Analizi

Faruk Emre AYSAL¹, Hüseyin BAYRAKÇEKEN¹ ve Zekeriya GİRGİN²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi.-Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli.

e-posta: faysal@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:18.01.2016; Kabul Tarihi:26.02.2016

Özet

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve taşıtlarda yakıt tüketimini azaltıcı, sürüş konforunu artırıcı araştırmalar son zamanlarda oldukça hız kazanmıştır. Düşünülen her yenilik ve gelişimin doğrulanmadan denenmesi otomotiv sektörü için yüksek bir maliyete sebep olmaktadır. Bu tür bir yaklaşım üretici firmalar ve araştırmacılar için büyük bir zaman kaybına yol açmaktadır. Bu sebeplerden dolayı taşıt üzerinde yapılacak geliştirmeler öncelikle çeşitli simülasyon programlarında gerçekleştirilmektedir. Simülasyon sonuçları bir sonraki aşamada gerçek zamanlı çalışmalarla desteklenerek prototip üretimine geçilmektedir. Yapılan çalışmalarda simülasyon ortamı olarak Msc. Adams ve AMSim gibi birçok farklı programlar kullanılabilir. Simülasyon çalışmalarında kullanılan programlar arasında en yaygın kullanılan simülasyon ortamı Matlab/Simulink programıdır. Bu çalışmada dört ve beş vitesli manuel şanzımanların aynı taşıtta kullanılmasını karşılaştırmak amacıyla Matlab/Simulink ortamında simülasyonlar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler

Taşıt Dinamiği; Taşıt Simülasyonu; Manuel Vites Kutusu; Redüksiyon Oranı.

The Analysis of Level Increase at the Vehicle Gearboxes

Abstract

In recent years, investigations show gain on the development of new technologies in the automotive industry, even that especially to reduce fuel consumption and increase to driving comfort. In automotive industry R&D process leads to very high cost if contemplated each implements without verification. Even that, one such approach is cause to great waste of time for Producer Company and researcher. For these reasons, developments will be carried out primarily on vehicles. These improvements are developed by using various simulation programs. If the simulation results supported with a real-time simulation, as a second step is beginning of the started the prototype production. In the performed studies, many different programs such as AMSim and Msc. Adams, can be used as the simulation environment. One of the most important and commonly used simulation program is Matlab/Simulink. In this study, five and four Speed manual transmissions are simulated in Matlab/Simulink to compare the results at the same vehicle. Also, the effects of the reduction ratio were examined for both of two transmissions

Keywords

Vehicle Dynamics; Vehicle Simulations; Manual Transmission; Reduction Ratio.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Otomotiv endüstrisinde son yıllarda sürüş ve yakıt verimini arttırmak üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Motorda üretilen gücün tekerleklere kadar ulaştırılmasını sağlayan güç aktarma organları içerisinde şanzıman, taşıt performansında ve yakıt ekonomisinde önemli bir rol oynamaktadır. Şanzımanların çok sayıda çeşidi bulunmakla birlikte

halen geliştirme çalışmaları hızla sürmektedir. Taşıt ve şanzıman fonksiyonel sistem olarak alınırsa vites sayısı, her bir vitesin redüksiyon oranı ve bileşke redüksiyon oranı değerlendirilip, vites kutusu tasarımının ve kontrolünün nasıl olacağına karar verilebilir. Tasarımcı taşıtın maksimum hızını, taşıta uygun ivmelenmeyi, taşıt için gerekli tırmanma performansını ve işletme koşullarını dikkate alarak karar vermektedir. Ayrıca tasarım açısından

sınırlandırmaya neden olan bir diğer etki de şanzımanın güç aktarımındaki verimi ve özellikle yakıt tüketimidir (Aysal, 2014). Manual şanzımanlar yaklaşık olarak %96,2 verime sahiptir ki, bu verim şanzımanlar için en yükseğidir. Güncel otomatik şanzımanların ise verimleri %86,3'ten daha yüksek değildir. CVT şanzımanların en büyük avantajının motor yönetiminde en verimli yakıt tüketim şekli olmasına rağmen kayışlı tip CVT şanzımanların verimi %84,2 mertebesinde (Kulkarni et al. 2007). Taşıtlarda şanzıman kullanımı tarihsel süreçte 3 vitesli şanzıman ile başlamış ve 4 vitesli şanzıman kullanımı ile ticarileşmiştir. Kullanılan motor kapasitelerinin, motor çalışma devirlerinin, yakıt enjeksiyon ve yanma sistemlerinin yıllar içinde gelişmesi sonucunda şanzımanların da geliştirilmesi gerekmiştir. Ağır ticari taşıtlarda 10-24 yolcu otobüslerinde 6 – 12 gibi yüksek sayıda vitesler kullanılabilirken, binek otomobillerde genel olarak 4 ve 5 vitesli şanzıman kullanımı tercih edilmiştir. Son yıllarda ticari firmalar tarafından 6 – 7 ve 8 vitesli şanzımanlar kullanılmaya başlanmıştır. 9 ve 10 vitesli şanzımanlar konsept araçlarda denenmekte ve teknolojik olarak Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Bunun sebebi vites sayısı arttıkça motor gücünün daha verimli kullanılması ve yakıt tasarrufunun artmasıdır. Buna karşılık vites sayısını arttırmanın tasarımın karmaşıklaşması ve kullanımı zorlaştırması gibi dezavantajları da mevcuttur. Yamamoto ve ark. (2001), Aisin firması için dört vitesli otomatik şanzımandan daha iyi performans sağlayan ve daha az yer kaplayan, vites kutusunda planet dişli kullanılan beş vitesli bir otomatik şanzıman geliştirmiştir. Scherer (2003), Alman ZF firmasına sunduğu altı vitesli otomatik şanzımanda beş vitesli otomatik şanzımanla karşılaştırıldığında toplam bileşen sayısını %29, toplam şanzıman uzunluğunu %6 azaltmış ve kontrol metodunun kalitesini ve cevap verme süresini iyileştirmiştir. Greiner ve ark. (2004), Mercedes Benz firması için yedi vitesli bir şanzıman üretmişlerdir. Üretilen şanzımanla şanzıman kontrolörünün cevap verme süresi kısaltılmış ve önceki bütün otomatik şanzımanlardan daha iyi bir ivmelenme performansı sağlanmıştır. Kondo ve ark. (2007), Toyota firmasına sekiz vitesli bir otomatik şanzıman sunmuşlardır. Altı

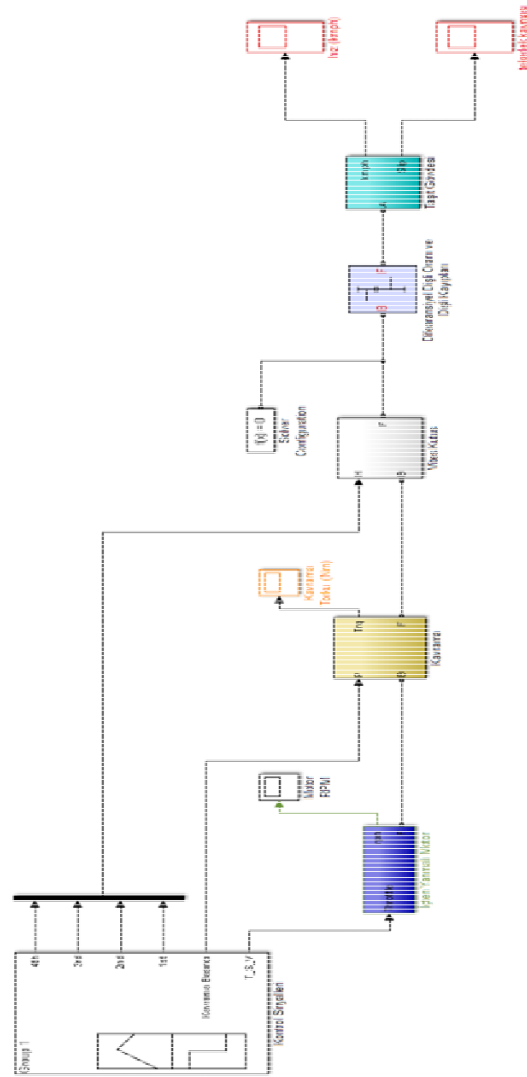
vitesli otomatik şanzımanla karşılaştırıldığında yakıt tüketiminde %6,5 tasarruf sağlanmıştır. Araştırmalar vites sayısının taşıt performansında ve özellikle yakıt kullanım veriminde önemli bir etmen olduğunu göstermiştir. Şanzımanların geliştirilmesinde araştırma konularından birisi de her bir vites kademesindeki redüksiyon oranı aralığı seçimi ya da toplam redüksiyon oranı olarak belirlenebilir (Lechner and Naunheimer 1999). Otomotiv endüstrisinde yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve taşıtlarda yakıt tüketimini azaltıcı, sürüş konforunu arttırıcı araştırmalar son zamanlarda oldukça hız kazanmıştır. Düşünülen her yenilik ve gelişimin doğrulanmadan denenmesi otomotiv sektörü için yüksek bir maliyete sebep olmaktadır. Ayrıca böyle bir yaklaşım üretici firmalar ve araştırmacılar için büyük bir zaman kaybına yol açmaktadır. Bu sebeplerden dolayı taşıt üzerinde yapılacak geliştirmeler öncelikle çeşitli simülasyon programlarında geliştirilmektedir. Simülasyon sonuçları bir sonraki aşamada gerçek zamanlı çalışmalarla desteklenirse prototip üretimine geçilmektedir. Yapılan çalışmalarda simülasyon ortamı olarak Msc. Adams, AMSim gibi birçok farklı program kullanılmıştır. Bu programların başında Matlab/Simulink gelmektedir (Kulkarni et al. 2007, Srivastava and Haque 2009, Liu et al. 2011, Zheng et al. 2011). Günümüzde kısmi olarak dört vitesli taşıtların kullanılmasına devam edilmekle beraber genel olarak beş vitesli taşıtların kullanımı oldukça yaygındır. Altı ve yedi vites gibi yüksek vites sayılı taşıtların kullanımı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu durum vites sayılarındaki artışın taşıta karakteristik etkilerinin ortaya konulmasını gerekli hale getirmiştir. Vites sayısı artışının taşıt üzerindeki etkileri, dört ve beş vitesli şanzımanlar aynı taşıtta karşılaştırılarak elde edilebilmektedir. Bu çalışmada dört ve beş vitesli manuel şanzımanların aynı taşıtta kullanılmasını karşılaştırmak amacıyla Matlab/Simulink ortamında simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlarda her iki şanzıman içinde farklı redüksiyon oranlarının etkileri de incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Vites sayılarının ve vites kademelerindeki redüksiyon oranlarının taşıt üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla dört ve beş vitesli şanzımana sahip bir taşıt modeli oluşturulmuştur. Artan vites kademesi incelendiğinde elde edilen verilerin dört ve beş vitesli taşıtta daha anlaşılır olduğu görülmüştür. Bu sebeple günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan altı vitesli şanzıman modelleri yerine dört ve beş vitesli şanzıman modelleri değerlendirmeye alınmıştır. Dört vitesli taşıt için oluşturulan model Şekil 1'de görülmektedir. Model; içten yanmalı motor, kavrama, şanzıman ve taşıt gövdesi için ayrı alt sistemleri içermektedir. Taşıtın sürücü kontrol sinyalleri Matlab/Simulink araçlarından Signal Builder ile yapılmıştır. Signal Builder'den çıkan vites kontrol sinyalleri bir sinyal birleştirici ile toplanarak şanzımana iletilmiştir. Kavramaya uygulanan basınç ve gaz kelebeğinin açıklığını karakterize eden sinyal ayrı ayrı kavrama ve içten yanmalı motor alt sistemlerine iletilmiştir. Taşıtın modellenmesinde 100 kW gücünde, maksimum güçteki hızı 5500 rpm, maksimum devri 8000 rpm olan sıkıştırma ile ateşlemeli dört silindri bir içten yanmalı motor kullanılmıştır. Signal builder'da işlenen sürücünün gaz kelebeğiyle ilgili davranış sinyali matematiksel sinyalleri S domain'in den fiziksel sinyale dönüştüren S-PS (Simulink to Phsycal Signal) dönüştürücü ile fiziksel sinyale dönüştürülerek gaz kelebeğine iletilmiştir. Motor alınan güç fiziksel sinyali PS-S (Phsycal Signal to Simulink) dönüştürücü ile grafiğe aktarılmıştır. Motor çıkış şaftına eklenen devir sensörü ile de motorun krank çıkışındaki devri ölçülüp üst sisteme çıktı olarak verilmiştir. Oluşturulan sistem manuel şanzıman sistemi olduğu için kuru tip kavrama kullanılmıştır.

Bu çalışmanın odak noktası şanzıman dişli sayısı ve redüksiyon oranıdır. Bu nedenle yapılan modelleme için hali hazırda Matlab/Simulink ortamının içinde gömülü bulunan kavrama sistemi bu tasarım için kullanılmıştır. Bu sistemde signal builder'dan alınan S uzayındaki sinyal S-PS dönüştürücü ile fiziksel sinyale dönüşmektedir. İdeal kuvvet üreticisinin güç kaynağı düğmesi S'ye bağlanan sinyal ile kavrama için gerekli basınç kuvveti sağlanmaktadır. Kavrama sisteminde kavrama kontrol mekanizması ve kavrama sürtünme kuvveti alt sistem olarak

tasarlanmıştır. Kavramadaki sürtünme kuvveti, Simdriveline menüsündeki iki dönel parça arasında kuvvet iletimini sürtünme kuvvetiyle sağlayan basit bir baskı balata ikonu ile şanzımana iletilecek şekilde kavrama sistemi tamamlanmıştır. Kavramada oluşan tork değişimini ölçmek amacıyla kavramanın bağladığı şafta Simulink kütüphanesinden ideal tork sensörü eklenmiştir. Sensörden alınan verileri PS-S dönüştürücü ile üst sisteme gönderilerek grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 1. Dört Vitesli Taşıt Simulink Modeli

Simülasyon modelinde vites sayısının etkisini incelemek amacıyla dört vitesli şanzımanla karşılaştırılmak üzere ayrıca beş vitesli şanzıman modeli tasarlanmıştır. Dört vitesli manuel şanzıman kısmında açıklanandan farklı olarak beş vitesli

şanzıman ve taşıtın sinyal diyagramı modellenmiştir. Her iki modelde de şanzımanlar geleneksel manuel şanzıman sistemine uygun olarak tasarlanmıştır.

3. Bulgular

Oluşturulan simülasyonda kullanılan şanzımanların dişli oranları (S1) bir ticari firmanın katalog değerlerine uygun şekilde tasarlanmıştır. Örneğin dört vitesli şanzıman için temel alınan dişli oranları her bir kademe için 0.1 aralıkla arttırılmıştır. 1. vites için 2,8 değerine ulaşıldığında motor maksimum devrine ulaştığı için daha fazla arttırılamamıştır.

Tablo 1. Dört ve Beş Vitesli Taşıtlarda Vites Kademelerinde Dişli Oranlar

Dört Vitesli Taşıtta Vites Kademelerinde Dişli Oranları			
	S1	S3	S5
1. VİTES	2,598	2,8	2,8
2. VİTES	1,460	1,6	1,8
3. VİTES	1	1,2	1,4
4. VİTES	0,723	0,9	1

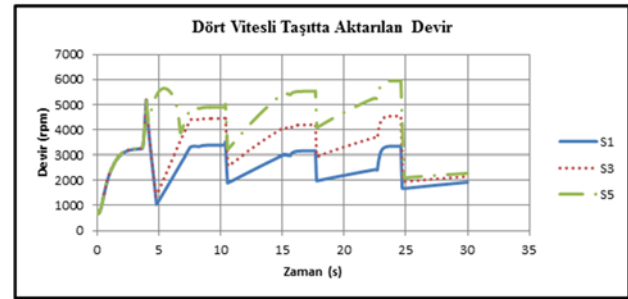
Beş Vitesli Taşıtta Vites Kademelerinde Dişli Oranları			
	S1	S3	S5
1. VİTES	3,58	3,9	4,1
2. VİTES	1,93	2,2	2,4
3. VİTES	1,32	1,6	1,8
4. VİTES	0,95	1,2	1,4
5. VİTES	0,77	1	1,2

Aynı şekilde ikinci vites 2,11 üçüncü vites 1,5 dördüncü vites ise 1,13 değerine kadar 0,1'er aralıkla arttırılmıştır. Çok farklı sayıdaki dişli oranlarının karşılaştırılması yerine ortaya çıkan grafiklerin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla 3 dişli oranı kombinasyonu S1, S3 ve S5 esas alınmıştır. (Tablo 1) Aynı çalışma beş vitesli taşıt için de yapılmıştır. Her iki şanzımanın analiz sonuçları hem

kendi içindeki redüksiyon oranı değişimine göre hem de iki şanzımanın ticari firmadan alınan katalog değerleri için analiz edilmiştir.

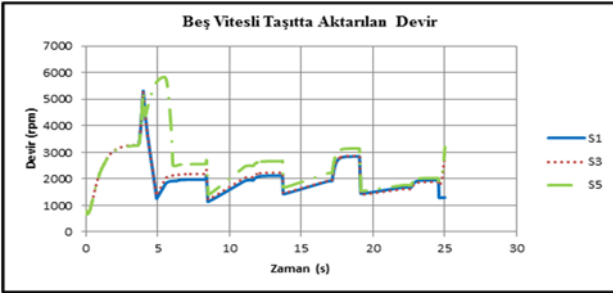
3.1. Dört ve Beş Vitesli Taşıtta Redüksiyon Oranına Göre Aktarılan Devir

Şekil 2'de dört vitesli şanzıman için elde edilen motor devri verileri görülmektedir. Vites değişimlerinde devirde olan dalgalanma grafikten açıkça görülmektedir. Örnek olarak 5 ila 10. saniyeler arasında 3 eğride önce lineer olarak artmış sonrasında hemen hemen sabit kalıp eğimi sıfırlanmış ve sonrasında lineer olarak sert bir şekilde düşerek tekrar lineer şekilde artışa geçmiştir.



Şekil 2. Dört Vitesli Taşıtta Aktarılan Devir

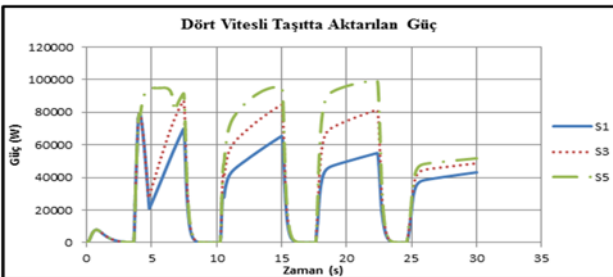
Şekil 3'te beş vitesli şanzıman için elde edilen aktarılan devir verileri görülmektedir. Dört vitesli taşıtla benzer olarak rölantiden 1. vites geçiş aşaması olan ilk 5 saniyede sonrasında 2. vites geçiş bölgesi olan 5-8. saniyeler arasında, 3. vites geçiş bölgesi olan 8-12. saniyeler arasında ve 4. vites geçiş bölgesi olan 12-17. saniyeler arasında 5. vites bölgesi olan 17-22. saniyeler arasında görülmektedir. Bu döngünün ilk aşaması olan lineer artışta gaz kelebeği tam açık pozisyonda olduğundan taşıt hızlanmakta ve dolayısıyla aktarılan devir de artmaktadır. İkinci aşamada sürücünün debriyaj basması sinyal olarak simülasyona yansımaktadır. Bu durumda aktarılan devir sabit kalırken vites değişikliği gerçekleşmektedir. Vites değişimi sonrasında beklenen şekilde aktarılan devir düşerek gaz kelebeğinin tekrar açılmasıyla aktarılan devir tekrar artmaktadır.



Şekil 2. Beş Vitesli Taşıtta Aktarılan Devir

3.2. Dört ve Beş Vitesli Taşıtta Redüksiyon Oranına Göre Aktarılan Güç

Şekil 4'te dört vitesli şanzıman kullanımında aktarılan güç verileri görülmektedir. Vites değişimlerinde güçte olan dalgalanma grafikten açıkça görülmektedir. Örnek olarak 5 ila 10. saniyeler arasında üç eğri de önce lineer olarak artmış sonrasında hemen hemen sabit kalıp eğimi sıfırlanmış ve sonrasında lineer olarak sert bir şekilde düşerek tekrar lineer şekilde artışa geçmiştir. Eğrilerde bu durum benzer olarak rölantiden 1. vitese geçiş aşaması olan ilk 5 saniyede sonrasında 2. vitese geçiş aşaması olan 5-10. saniyeler arasında, 3. vitese geçiş aşaması 10-17. saniyeler arasında ve 4. vitese geçiş aşaması olan 17-25. saniyeler arasında görülmektedir. Bu döngünün ilk aşaması olan lineer artışta gaz kelebeği tam açık pozisyonda olduğundan motordan sağlanan güç lineer olarak artmaktadır. İkinci aşamada sürücünün debriyaja basması sinyal olarak simülasyona yansımaktadır. Bu durumda aktarılan güç S1 oranları için sabit kalırken S3 ve S5 oranları için kavrama kontrolündeki eksiklikten dolayı güç kesilmesi gerçekleşmektedir.



Şekil 3. Dört Vitesli Taşıtta Aktarılan Güç

Vites değişimi sonrasında beklenen şekilde aktarılan güç düşerek gaz kelebeğinin tekrar açılmasıyla aktarılan tahrik gücü tekrar

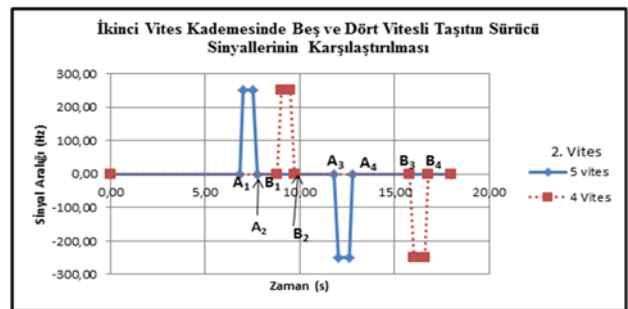
yükselmektedir. Şekil 5'te beş vitesli şanzıman için aktarılan tahrik gücü verileri görülmektedir. Dört vitesli taşıtla benzerlik göstermekle beraber rölantiden 1. vitese geçiş aşaması ilk 5 saniyede, 2. vitese geçiş bölgesi 5-8. saniyeler arasında, 3. vitese geçiş bölgesi 8-12. saniyeler arasında ve 4. vitese geçiş bölgesi 12-17. saniyeler arasında 5. vites bölgesi 17-22. saniyeler arasında oluşmaktadır.



Şekil 4. Beş Vitesli Taşıtta Aktarılan Güç

3.3. Dört ve Beş Vitesli Taşıtta Aktarılan Gücün Karşılaştırılması

Taşıtlarda şanzımanların vites sayısının taşıta olan etkilerini incelemek amacıyla dört ve beş vitesli taşıtın aktarılan devri ve sürücü sinyalleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da sürücü sinyallerinin diğer kademeler içinde örnek olması için 2. vites geçişindeki durumlarının karşılaştırılması verilmiştir. 2. vites için sürücünün davranışını karakterize eden sinyaller dört ve beş vitesli taşıtta aynı vites kademesindeki geçiş zamanlamasını farklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. İkinci Vites Kademesinde Beş ve Dört Vitesli Taşıtın Sürücü Sinyallerinin Karşılaştırılması

Beş vitesli taşıtta A1 noktasında senkromeç 2. vites dişlisi ile kavramaya başlamakta, A2 noktasında kavramayı tamamlamaktadır. A3 noktasında

senkromeç 2. vites dişlisinde ayrılmaya başlamakta ve A4 noktasında ayrılma tamamlanmaktadır. Aynı şekilde dört vitesli taşıtta 2. vites dişlisi ile senkromeç B1 noktasında kavramaya başlamakta ve B2 noktasında kavrama tamamlanmaktadır. B3 noktasında senkromeç 2. vites dişlisinden ayrılmaya başlamakta ve ayrılma B4 noktasında tamamlanmaktadır. Beş vitesli taşıt 2. viteste 4,85 (A1 – A4) saniye giderken dört vitesli taşıtta 7,1 (B1 – B4) saniye gitmiştir. Şekil 8’den görüldüğü gibi bu durum dört vitesli taşıtın 2. viteste daha yüksek devire çıkmasına sebep olmaktadır. Bu durumda, beş vitesli şanzıman kullanımı taşıtın yakıt sarfiyatı açısından daha ekonomik olmasına imkân vermektedir.

Şekil 7’de aktarılan devirlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi eğriler karakteristik olarak birbirinin hemen hemen aynıdır. Ancak vites değişim zamanlarının ve vites sayılarının farklılıklarından dolayı maksimum ve minimum noktaları farklı oluşup farklı profiller oluşmuştur. Dört vitesli taşıtta aktarılan devir aynı vitesin maksimum noktalarında beş vitesli taşıta göre ortalama %19 daha yüksek olmaktadır.



Şekil 5. Dört ve Beş Vitesli Taşıtta Aktarılan Devirin Karşılaştırılması

4. Tartışma ve Sonuç

Taşıtlarda yakıt tüketimi taşıtın motor torku, motor gücü ve devir sayısına bağlı olmasının yanı sıra kavrama şanzıman gibi güç aktarma organlarından elde edilen tork, güç ve devir aktarımı gibi parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Dört vitesli taşıt ile beş vitesli taşıtın 2 - 3 ve 4. vitesleri karşılaştırıldığında beş vitesli taşıtta daha düşük devirlerde ikinci, üçüncü ve dördüncü vites kademeleri sağlanmıştır (Şekil 7). Dolayısıyla 1. vites hariç beş vitesli taşıtta yakıt tüketimi daha az olmaktadır. 1. vites de dört vitesli taşıtın yakıt

tasarrufu açısından daha ekonomik olmasının sebebi redüksiyon oranının beş vitesli şanzımanın 1. vitesinden düşük olmasıdır.

Dört vitesli taşıtta aktarılan devir aynı vites kademesi için beş vitesli taşıta göre ortalama %19 daha yüksek olmaktadır. Dört vitesli taşıtta aynı vites kademesi için beş vitesli taşıta göre daha yüksek devir aktarılmasına rağmen daha düşük tork iletilmektedir. Bu durum da beş vitesli taşıtın yakıt tasarrufu açısından daha etkin bir çözüm olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

Aysal, F.E., Vites Kademesindeki Artışın Taşıta Olan Etkisinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

Greiner, J., Doerr, C., Nauertz, H. and Graeve, M. (2004). The New "7G-TRONIC" of Mercedes-Benz: Innovative Transmission Technology for Better Driving Performance, Comfort and Fuel Economy. *SAE paper*, No. 2004-01-0649.

Kondo, M., Hasegawa, Y., Takanami, Y., Arai, K., Tanaka, M. and Kinoshita, M. (2007). Toyota AA80E 8-Speed Automatic Transmission with Novel Powertrain Control System. *SAE paper*, No. 2007-01-1311.

Kulkarni, M., Shim, T. and Zhang, Y. (2007). Shift dynamics and control of dual-clutch transmissions. *Mechanism and Machine Theory*, 168–182.

Lechner, G. and Naunheimer, H. (1999). *Automotive Transmissions Fundamentals Selection Design And Application*. Stuttgart and Augsburg: Springer.

Liu, Y., Qin, D., Jiang, H., Liu, C. and Zhang, Y. (2011). Clutch torque formulation and calibration for dry dual clutch transmissions. *Yi Zhang*, 218-227.

Scherer, H. (2003). ZF 6-Speed Automatic Transmission for Passenger Cars. *SAE paper*, No. 2003-01-0596.

Srivastava, N. and Haque, I. (2009). Nonlinear dynamics of a friction-limited drive: Application

to a chain continuously variable transmission (CVT) system. *Journal of Sound and Vibration* **(321)**, 319-341.

Yamamoto, Y., Nishida, M., Suzuki, K., Saitou, M. and Tsutsui, H. (2001). New Five-Speed Automatic Transmission for FWD Vehicles. *SAE paper* , No.2001-01-0871.

Zheng, C. H., Lim, W. S. and Cha, S. W. (2011). Performance Optimization Of CVT For Two-Wheeled Vehicles . *International Journal of Automotive Technology*, **12(3)**, 461-468.