

## Araştırma Makalesi / Research Article

**Taşıt Vites Kutularının Simülasyon ve Yol Testleri ile İncelenmesi**Hüseyin Bayrakçeken<sup>1</sup>, Faruk Emre Aysal<sup>1</sup><sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü  
e-posta: faysal@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 24.10.2016 ; Kabul Tarihi: 21.03.2017

**Özet****Anahtar kelimeler**Vites Kutusu; Taşıt  
Dinamiği; Yol Testleri.

Bu çalışmada taşıtlardaki vites kademesi değişimin etkileri yol testleri yapılarak araştırılmış ve bu testlerden yararlanılarak Matlab/Simulink simülasyon ortamında yarım taşıt modeli kullanılarak taşıt simülasyonları yapılmıştır. Çalışmada iki adet beş vitesli bir adet altı vitesli olmak üzere üç farklı taşıt ve model kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları ile yol testlerinin karşılaştırması yapılmış ve deneysel çalışma ile simülasyon çalışmasının uygunluk gösterdiğini ortaya konulmuştur. Ayrıca yedi vitesli taşıt için yarım taşıt modeli kullanılarak taşıt simülasyonu yapılmıştır. Vites kademesindeki artışın etkileri simülasyon yöntemi ile ortaya güvenilir bir şekilde konulmuştur.

**The Investigation of Vehicle Gearboxes via Simulation and Road Tests****Abstract****Keywords**Gearbox; Road Tests;  
Vehicle Dynamics.

In this study, the variation of gearbox level investigated via road tests with two different vehicle and performed half vehicle simulations by using Matlab/Simulink. Road tests and simulation model performed for both fifth and sixth speed vehicles. The comparing of simulation results and road tests results shown that presented simulation method appropriate to experimental study. Besides, the effect of increase of gearbox level can be obtained with half vehicle model of seventh speed vehicle by using presented simulation method.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

**1. Giriş**

Son yıllarda otomotiv alanında yapılan çalışmalar sürüş konforunu ve yakıt ekonomisini iyileştirmek üzerine yoğunlaşmıştır. Taşıtlarda seyir esansındaki torku düzenleyen vites kutuları sürüş konforunda ve yakıt ekonomisinde önemli bir rol oynamaktadır (Aysal, 2014). Vites kutuların taşıtlarda kullanımı ilk olarak üç vitesli vites kutuları ile başlayıp, dört vitesli vites kutularının geliştirilmesiyle ticari olarak yaygınlaşmıştır (Lechner and Naunheimer, 1999). Günümüzde ağır ticari taşıtlarda kullanılan vites kutularında vites sayısı 10 - 24 yolcu otobüslerinde kullanılan vites kutularında ise 6 - 12 gibi yüksek sayılarda olabilmektedir. Bunun nedeni, kamyon, tır, ve otobüs gibi ağır taşıtlarda yakıt ekonomisini arttırmak amacıyla daha fazla ara değerde tork seviyesine ihtiyaç duyulmasıdır. Binek araçlarda son

yıllarda 5 ve 6 vitesli vites kutuları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bazı ticari firmalar tarafından 7 ve 8 vitesli vites kutuları kullanılmaya başlanmıştır. Konsept araçlarda binek taşıtlar için 9 ve 10 vitesli vites kutuları denenmekte ve bu alandaki Ar-Ge çalışmaları hızla devam etmektedir. Taşıtlarda kullanılan vites kutularının vites sayılarındaki bu artışın sebebi vites sayısının artmasıyla motorda üretilen gücünün daha verimli kullanılabilmesi ve yakıt ekonomisinin iyileşmesidir. Buna karşılık vites sayısını arttırmanın tasarımın karmaşıklaşması ve kullanımı zorlaştırması gibi dezavantajları da mevcuttur (Aysal et al., 2016). Yamamoto ve ark. (2001), planet dişli sistemi kullanarak dört vitesli geleneksel otomatik vites kutusundan daha yüksek güç aktarım verimine sahip beş vitesli bir otomatik vites kutusu

geliştirmiştir. Scherer (2003), beş vitesli otomatik vites kutusuna göre toplam bileşen sayısını %29 toplam vites kutusu uzunluğunu %6 azaltan altı vitesli otomatik bir vites kutusu geliştirmiştir. Yapılan çalışma da geliştirilen vites kutusunun kontrol metodu ve cevap verme süresini iyileştirilmiştir. Greiner ve ark. (2004), yedi vitesli bir vites kutusu üretmişlerdir. Üretilen vites kutusunun otomatik kontrolü geleneksel otomatik vites kutularına göre iyileştirilmiştir. Kontrol mekanizmasının cevap verme süresi kısaltılmış ve önceki bütün otomatik şanzımanlardan daha iyi bir ivmelenme performansı sağlanmıştır. Kondo ve ark. (2007), sekiz vitesli bir otomatik vites kutusu geliştirmiştir. Geliştirilen vites kutusu altı vitesli otomatik vites kutusuna göre yakıt tasarrufuna %6,5 katkı sağlamıştır.

Literatürde taşıt alanındaki çalışmalar maliyeti ve zaman kaybını azaltmak amacıyla ADAMS, MapleSim ve Matlab/Simulink programlar kullanılarak yapılan dinamik simülasyonlara yönelmiştir. Yapılan çalışmalar genel olarak güç aktarım sistemlerinin analitik modeller kullanılarak simülasyonlarının yapılması üzerinde yoğunlaşmıştır. Araştırmacıların büyük çoğunluğu geleneksel otomatik vites kutuları ve CVT-IVT-DCT vites kutularının modellenmesi ve kontrolü üzerinde durmuştur (Goetz et al., 2004, Kim et al., 2003, Zhang et al., 2003, Tsai et al., 2001, Megli et al., 1999, Zou et al., 2001, Yasuoka et al., 1999, Butler et al., 1999, Powell et al., 1998). Bu çalışmalarda taşıtlardaki güç aktarımının dinamik modellenmesi ve vites kutusu kontrolünün simülasyonu için çok çeşitli formülasyon metotları ve program teknikleri kullanılmıştır. Genel olarak güç aktarma sistemindeki her bir elemanın hareket denklemi ayrı ayrı türetilip ve sonrasında bütün taşıt sistemine entegre edilmektedir. Entegre edilen sistem modellerinin uygulaması orijinal olarak geliştirilmiş kodlama metotları ile veya nesne yönelimli programlama yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda vites kutusundaki redüksiyon oranının taşıt dinamiğine etkileri ile vites kademesindeki artışın taşıta olan etkileri incelenmiştir (Aysal et al. 2015, Aysal et al. 2016). Bu çalışmada beş ve altı vitesli taşıtların yol testleri

deneysel olarak gerçekleştirilen yol testlerinden yola çıkılarak Matlab/Simulink simülasyon ortamında yarım taşıt modeli kullanılarak taşıt simülasyonları yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılarak simülasyon tekniği yol testleri ile doğrulanmıştır. Ayrıca simülasyon yönteminin daha yüksek vites kademeli taşıtlara uygunluğunu görmek amacıyla yedi vitesli bir taşıt için yarım taşıt modeli kullanılarak taşıt simülasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak kullanılan simülasyon yönteminin yapılacak Ar-Ge çalışmalarında maliyet ve zaman kaybını azaltmak amacıyla güvenilir bir metot olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada öncelikle yol testleri yapılmıştır. Deneysel çalışma neticesinde elde edilen veriler kullanılarak taşıt simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Taşıt simülasyonları Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Yol Testlerinde Kullanılan Taşıtların Özellikleri

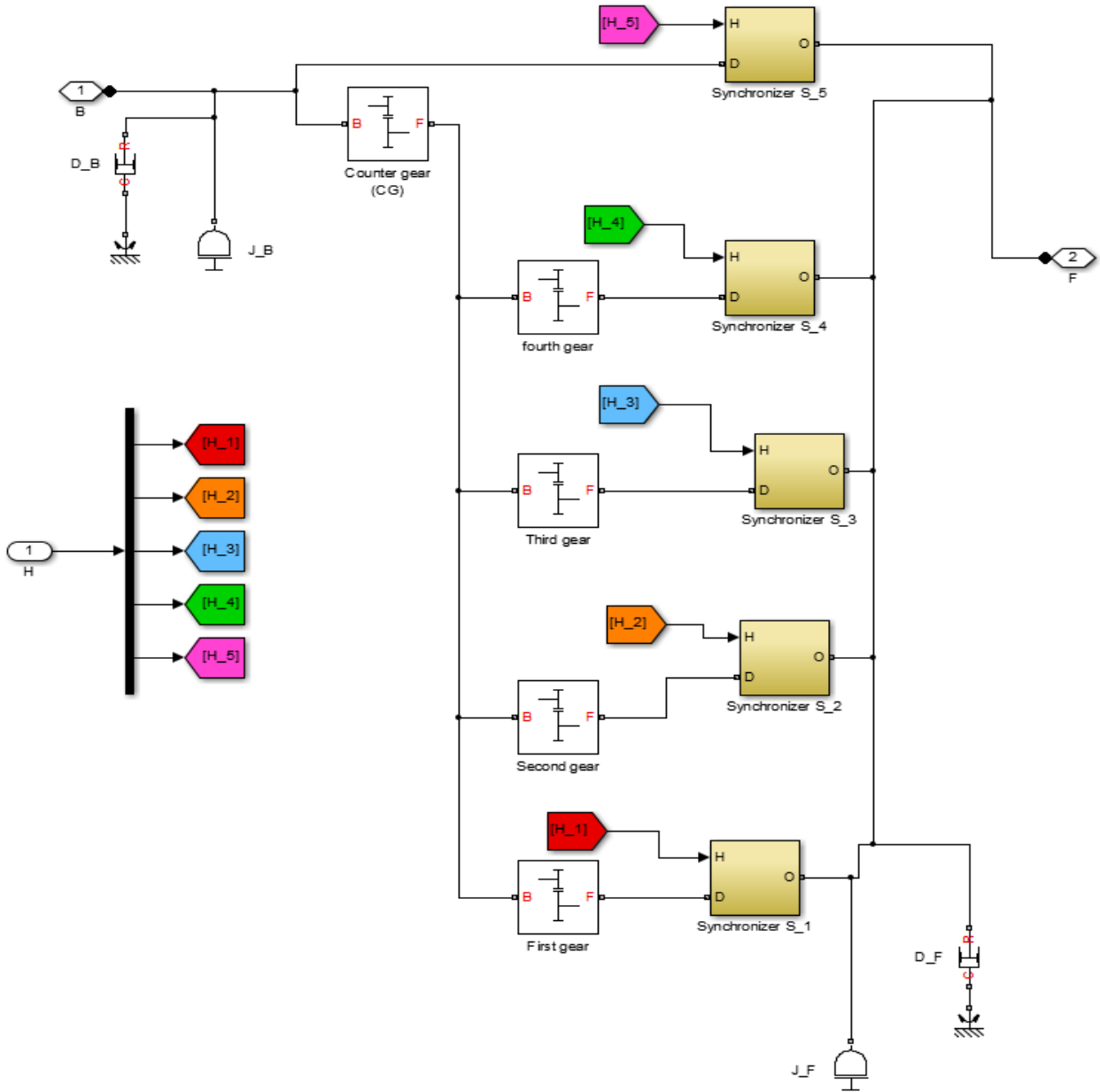
Deneysel Kullanılan Taşıtlar			
Modeli	Fiat-Doblo	Toyota-Verso	Hundai-Getz
Model yılı	2009	2013	2010
Silindir Hacmi cc	1300	1600	1500
Vites sayısı	5 ileri 1 geri	6 ileri 1 geri	5 ileri 1 Geri
	1- 4,273	1- 3,538	1- 3,615
	2- 2,238	2- 1,913	2- 2,053
Vites	3- 1,444	3- 1,392	3- 1,370
Kademelerindeki	4- 1,029	4- 1,029	4- 1,031
Dişli Oranları	5- 0,767	5- 0,875	5- 0,837
	R- 3.909	6- 0,743	R- 3,512
		R- 3,545	
Çekiş	Önden	Önden	Önden
Tekerlek Boyutları	185/65R15	205/60R16	175/65R14

### 2.1. Yol Testleri

Yol testlerinde taşıt özellikleri Tablo 1’de verilen beş ve altı vitesli üç farklı araç kullanılmıştır. Testler gerçekleştirilirken öncelikle sürücünün düz bir yol

da birinci vitesten beşinci vitese kadar kesintisiz bir şekilde hızlanması incelenmiştir. Hızlanma esnasında taşıtın motor devrinin 3000 rpm değerine ulaştığı noktada taşıtın anlık hız değeri okunmuştur. Sürücü her vites kademesinde 3000 rpm motor devrine ulaştığında vites değişimi gerçekleştirmiştir. Ayrıca vites değişim anındaki anlık hız değişimi de aracın hız göstergesinden alınmıştır. Örneğin; taşıt ikinci vites 3000 rpm de giderken taşıt hızı 40 km/h olmaktadır. İkinci vitesten üçüncü vitese geçiş esnasında motor devri ile birlikte anlık olarak taşıt hızında da 1-3 km/h aralığında bir hız düşümü gerçekleşmektedir. Yol testleri hava sıcaklığının 28 °C, açık ve rüzgârsız

olduğu bir ortamda trafiğe kapalı düz, viraj ve eğimi olmayan kuru asfalt bir yolda gerçekleştirilmiştir. Yol testlerinde kullanılan taşıtlarda kuru tip kavrama ve geleneksel manuel şanzıman bulunmaktadır. Kullanılan taşıtların motor soğutma sularının ortalama sıcaklığı 75-80 °C arasındadır. Gerçekleştirilen test prosedürü üçer kez tekrarlanarak ölçüm ve gözlemden kaynaklanabilecek hatalar minimize edilmiştir. Yol testleri esnasında gerçekleştiren hız ölçüm işlemleri analog gösterge yardımıyla yapılmıştır. Benzer şekilde altı vitesli taşıt için de yol testleri yapılmıştır.



Şekil 1. Beş İleri Vites Kutusu Modeli

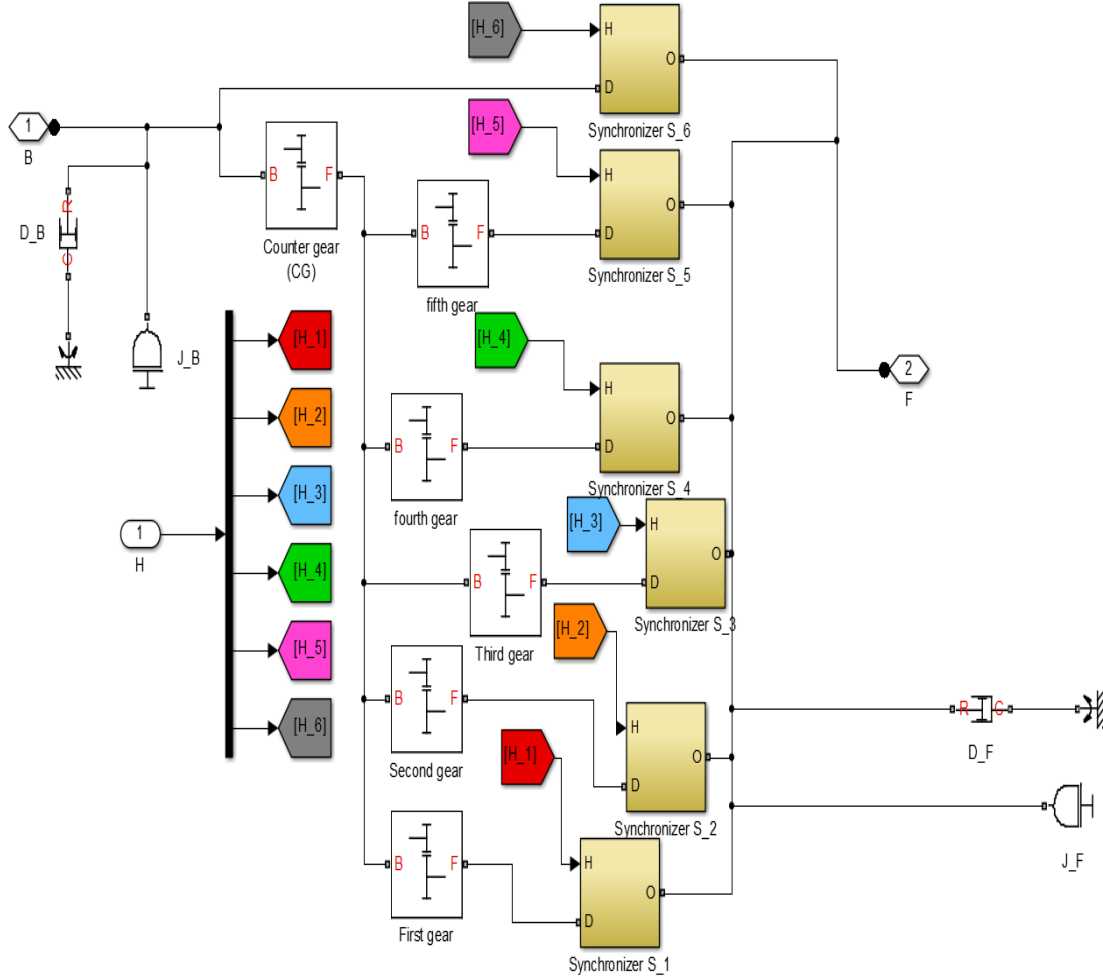
## 2.2. Simülasyon

Otomotiv endüstrisinde Ar-Ge çalışmaları yüksek maliyete ve zaman kaybına yol açmaktadır. Bu durum yapılacak olan yeniliklerin daha düşük maliyet ile daha az zamanda yapılması için simülasyon yöntemini ön plana çıkarmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmada Matlab/Simulink ortamında yarım taşıt modeli kullanılarak taşıt simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon hazırlanırken beş ve altı vitesli taşıt için yol testlerinde kullanılan ve özellikleri Tablo 1’de görülen taşıt özellikleri temel alınmıştır.

Hazırlanan simülasyonda vites geçişlerinin, kuru tip kavramanın çalışmasının ve içten yanmalı motorun gaz kelebeğinin kontrolü deney verilerinden elde edilen senaryo kullanılarak yapılmıştır. Beş vitesli taşıtın simülasyonunda kullanılan vites kutusu

modeli Şekil 1’de görülmektedir. Vites kutusu modellenirken geleneksel tip manuel taşıt vites kutuları esas alınmıştır. Şekil 1’de görüldüğü gibi her bir vites kademesi için bir dişli modülü ve bir senkromeç modülü kullanılmıştır. Deneysel verilere göre düzenlen kontrol sinyalleri sırasıyla senkromeçleri aktif hali getirmektedir. Bu işlemler gaz kelebeği ve kavramanın kontrolü ile senkronize bir şekilde gerçekleşmektedir.

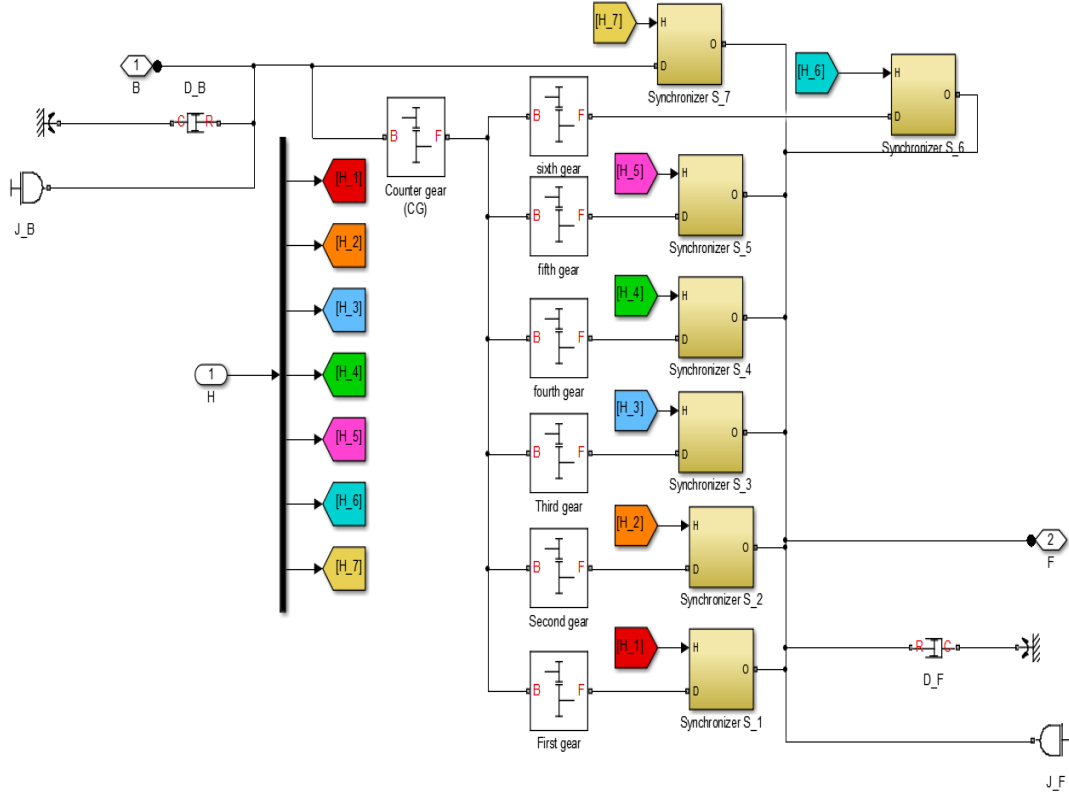
Altı vitesli taşıt simülasyonunda kullanılan vites kutusu modeli beş vitesli taşıtın modeline benzer şekilde hazırlanmıştır. Şekil 2’de görülen vites kutusu modelinde beş vitesli modelden farklı olarak altıncı bir dişli modülü kullanılarak altıncı vites kademesi simüle edilmiştir.



Şekil 2. Altı İleri Vites Kutusu Modeli

Beş ve altı vitesli taşıt modelleri, deneysel verilerle simülasyon verilerinin karşılaştırılması ve doğrulanması amacıyla oluşturulmuştur. Buna ek olarak, kullanılan simülasyon yönteminin yedi vitesli taşıtlar gibi daha fazla vites kademesine sahip taşıtlara uygunluğu için bir model daha oluşturulmuştur. Şekil 3'te vites kutusu modeli görülen yedi vitesli taşıt simülasyonu doğru bir

karşılaştırma yapılabilmesi için beş ve altı vitesli taşıt modelinde kullanılan yöntem esas alınarak modellenmiştir. Yol testleri ile simülasyon çalışmalarının karşılaştırılmasından sonra yedi vitesli taşıt modelinin simülasyon sonuçları beş ve altı vitesli taşıt modelleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Yedi İleri Vites Kutusu Modeli

### 3. Bulgular

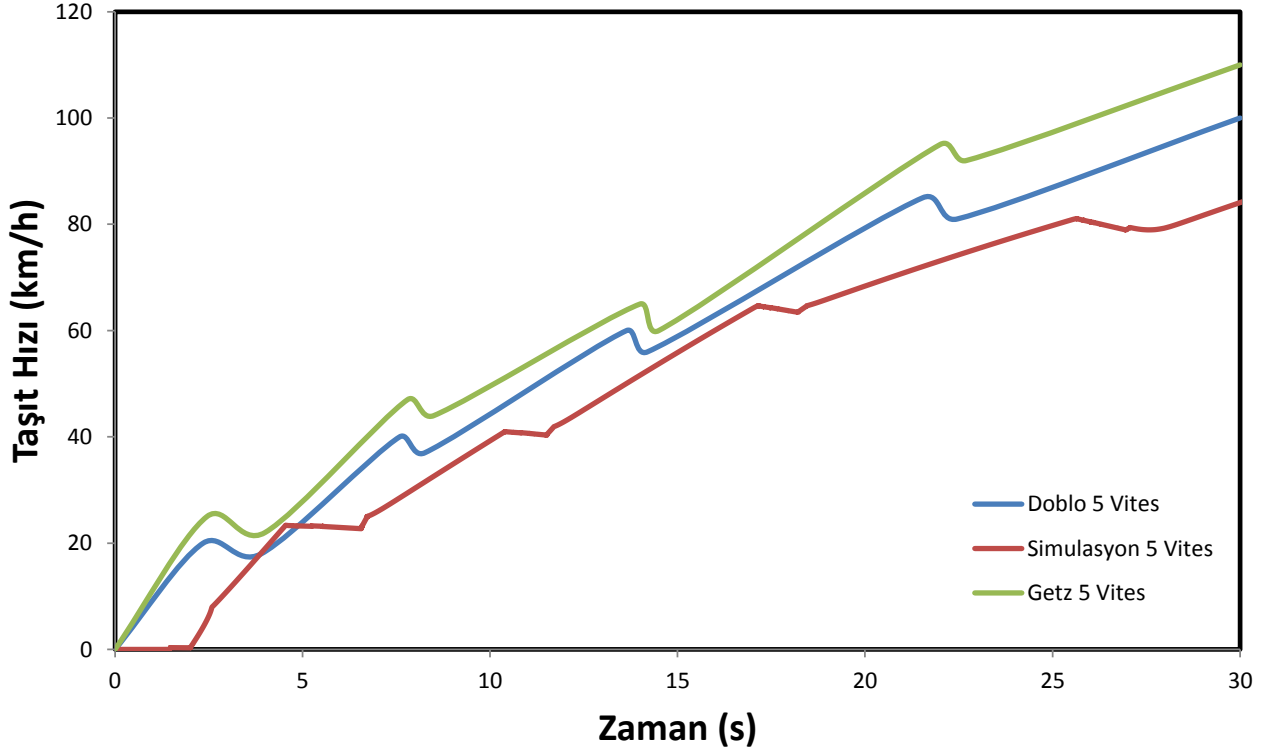
Beş vitesli taşıtlar için yol testlerinin ve simülasyon sonuçlarının taşıt hızı açısından karşılaştırılması Şekil 4'te görülmekte olup simülasyon sonuçlarıyla deney sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Simülasyon eğrisinin ilk 2,5 saniye boyunca sabit kalması simülasyon modelinden kaynaklanmıştır. Yol testlerinin aksine simülasyon metodunda taşıtın kalkışından önceki hazırlık evresi de simülasyonun bir parçası olmaktadır. Bu durum göz önüne alınıp simülasyon eğrisi 2,5 saniye kaydırılırsa deney verileriyle simülasyon verilerinin neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Simülasyon sonuçları ile

deney sonuçları arasındaki benzerlik oranı, her vites kademesi için ayrı olarak hesaplanmış ve bu hesaplamaların ortalaması alınmıştır. Sonuç olarak beş vitesli taşıtlardan Doblo için simülasyonun hassasiyeti ortalama 0,87 Getz için 0,85 olmuştur. Beş vitesli taşıt için yapılan çalışmaya benzer şekilde altı vitesli taşıt için yol testleri ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında simülasyon metodunun önemli ölçüde deney sonuçlarıyla örtüştüğü görülmektedir. Şekil 5'te altı vitesli taşıt için yol testleri ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Beş vitesli taşıt modelinde olduğu gibi taşıtın kalkışından önceki hazırlık evresi simülasyon yaklaşık 1 saniyelik bir

yer almaktadır. Simülasyon eğrisi 1 saniye kadar kaydırılacak olursa özellikle ilk dört vites kademesinde deneysel sonuçlarla simülasyon sonuçlarının neredeyse birebir aynı olduğu görülmektedir. Ancak simülasyon modelinin hassasiyetinin vites kademesinin artmasıyla birlikte beş ve altıncı vites kademelerinde azaldığı

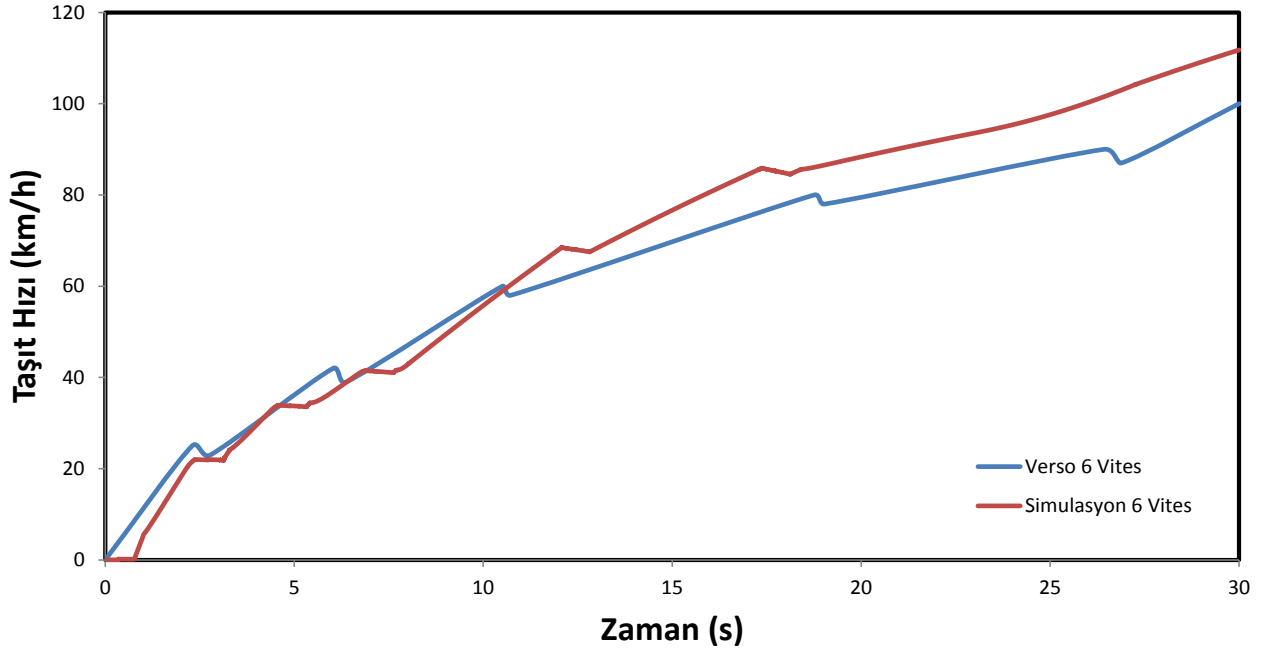
görülmektedir. Beş vitesli taşıta benzer şekilde simülasyon hassasiyeti altı vitesli taşıt için de hesaplanmıştır. Altı vitesli taşıt simülasyonunun ortalama hassasiyeti 0,80 olmuştur.

## 5 Vitesli Taşıtta Hız Grafikleri



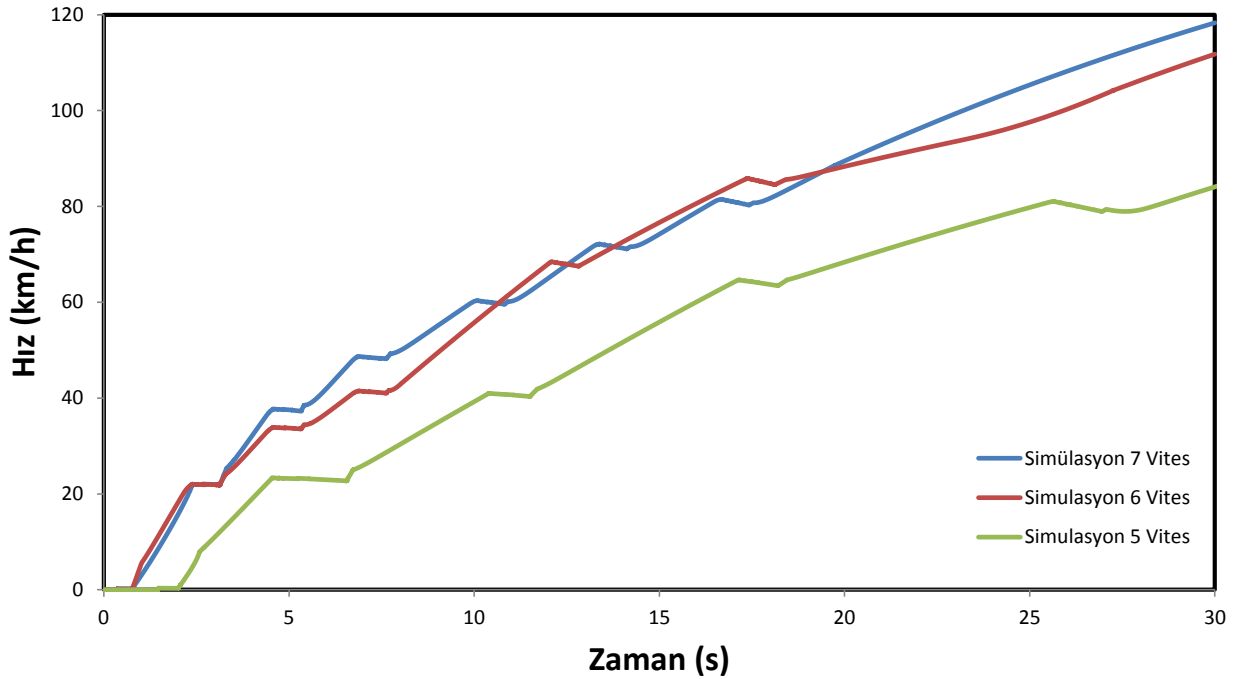
Şekil 4. Beş Vitesli Taşıtta Hız Grafikleri

## 6 Vitesli Taşıtta Hız Grafikleri



Şekil 5. Altı Vitesli Taşıtta Hız Grafikleri

## 5, 6 ve 7 Vitesli Taşıtların Hız Simülasyonu



Şekil 6. Beş, Altı ve Yedi Vitesli Taşıtların Hız Simülasyonlarının Karşılaştırılması

Kullanılan simülasyon yönteminin beş ve altıdan daha yüksek vites kademesine sahip taşıtların simülasyonlarına uygunluğunu incelemek amacıyla

yedi vitesli taşıt modeli hazırlanmıştır. Yedi vitesli taşıt simülasyonunun beş ve altı vitesli taşıt

simülasyonlarıyla karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'dan görüldüğü gibi yedi vitesli taşıt simülasyonun karakteristiği altı vitesli taşıt simülasyonuna büyük oranda benzerlik göstermektedir. Bu durum, kullanılan simülasyon yönteminin beş vitesli taşıtlarda yeterli hassasiyete sahip olmasına rağmen altı ve yedi vitesli taşıtlarda ilk dört vites kademesinden sonra beşinci, altıncı ve yedinci vites kademelerinde hassasiyetin beş vitesli simülasyon modeli kadar yüksek olmadığını ortaya koymaktadır. Ancak deneysel çalışmalardaki yüksek maliyet ve zaman kaybı göz önüne alındığında kullanılan simülasyon yönteminin altı ve daha fazla vites kademesine sahip taşıtların Ar-Ge çalışmalarında kullanılabileceğini göstermektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada beş ve altı vitesli taşıtların Matlab/Simulink ortamında yarım taşıt modeli kullanılarak yapılan simülasyonları yol testleriyle deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Beş vitesli taşıtlar için yol testleri iki farklı taşıt kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarının deney sonuçlarıyla büyük ölçüde benzerlik gösterdiği görülmüştür. Kullanılan simülasyon yönteminin beş vitesli taşıtlarda yeterli hassasiyete sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Simülasyon sonucu ile yol testleri karşılaştırıldığında benzerlik oranının Doblo'da 0,87 Getz'de 0,85 olduğu görülmüştür. Beş vitesli taşıtlarda sağlanan yüksek hassasiyet göz önüne alınarak altı vitesli taşıtlar için yol testleri bir araç ile yapılmıştır. Buna rağmen altı ve yedi vitesli taşıtlarda ilk dört vites kademesinden sonra beşinci, altıncı ve yedinci vites kademelerinde hassasiyetin beş vitesli simülasyon modeli kadar yüksek olmadığı görülmektedir. Ancak Ar-Ge çalışmalarının maliyetini ve zaman kaybı azaltmak amacıyla geliştirilen taşıt simülasyonlarının altı ve daha fazla vites kademesine sahip taşıtların rahatlıkla kullanılabileceğini ortaya koyulmuştur.

#### Teşekkür

Bu çalışma 15.TEKNOLOJİ.06 numaralı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- Aysal, F.E., 2014. Vites Kademesindeki Artışın Taşıta Olan Etkisinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aysal, F.E., Bayrakçeken B., and Girgin Z., 2015. Şanzımanlarda Dişli Oranı Değişiminin Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15**, 17-21.
- Aysal, F.E., Bayrakçeken B., and Girgin Z., .2016 Taşıt Vites Kutularında Kademe Artışının Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**, 167-173.
- Butler, K. L., Ehsani, M., and Kamath, P., 1999. A Matlab-based modeling and simulation package for electric and hybrid electric vehicle design. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **48** (6), 1770-1778
- Greiner, J., Doerr, C., Nauerz, 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.
- Goetz, M., Levesley, M. C., and Corolla, D. A., 2004. Integrated Powertrain Control of Gearshifts on Twin Clutch Transmissions. *SAE paper*, 2004-01-1637.
- Kim, D., Yang, K., Hong, K. S., Hahn, J. O., and Lee, K. I., 2003. Lee, Smooth shift control of automatic transmissions using a Robust adaptive scheme with intelligent supervision. *International Journal of Vehicle Design*, **32** (3/4), 250-272.
- 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.
- Lechner, G. and Naunheimer, H., 1999. Automotive Transmissions Fundamentals Selection Design And Application. Stuttgart and Augsburg: Springer.



- Megli, T. W., Haghgooie, M., and Colbin, D. S., 1999. Shift Characteristics of A 4-Speed Automatic Transmission. *SAE paper*, 1999-01-1060.
- Powell, B. K., Bailey, K. E., & Cikanek, S. R., 1998. Dynamic modeling and control of hybrid electric vehicle powertrain systems. *IEEE Control Systems Magazines*, **18 (5)**, 17-33.
- Scherer, H., 2003. ZF 6-Speed Automatic Transmission for Passenger Cars. *SAE paper*, No. 2003-01-0596.
- Tsai, L. W., Schultz, G., and Higuchi, N., 2001. A novel parallel hybrid transmission. *Journal of Mechanical Design*, **123 (2)**, 161-168.
- 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.
- Yasuoka, M., Uchida, M., Katakuta, S., and Yoshino, T., 1999. An Integrated control Algorithm for an SI Engine and CVT. *SAE paper*, 1999-01-0752.
- Zhang, Y., Zou, Z., Chen, X., Zhang, X., and Tobler, W., 2003. Simulation and analysis of transmission shift dynamics. *International Journal of Vehicle Design*, **32 (3/4)**, 556 - 561.
- Zou, Z., Zhang, Y., Zhang, X., and Tobler, W., 2001. Modeling and simulation of traction drive dynamics and control. *Journal of Mechanical Design*, **123 (4)**, 556-561.