

## Şehir İçi Otobüslerde Doğalgaz Tanklarının Yerleşiminin Dönme Karakteristiğine Etkisi

Gökhan ÖTNÜ, Faruk Emre AYSAL ve Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon/TÜRKİYE<sup>2</sup>  
e-posta:gokhanotnu@gmail.com, faysal@aku.edu.tr, bceken@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:06.04.2015; Kabul Tarihi:12.08.2015

### Özet

**Anahtar kelimeler**  
Virajda Frenleme;  
Manevra Karakteristiği;  
Dönme; Ağır Taşıt  
Dinamiği; Msc.  
Adams/Car

Yapılan çalışmada, bağımsız süspansiyonlu otobüslerde, farklı yolcu konumları, yolcu adetleri ve otobüsün üzerine konulması planlanan ekipmanın yer tespiti için CAD modeli oluşturulmuştur. Msc.Adams/Car programı kullanılarak doğalgazlı (CNG) otobüsün 100 metre yarıçaplı virajdaki frenlemesi incelenmiş ve taşıtın ağırlık merkezinin konumuna göre frenleme anındaki davranışı belirlenmiştir. Ağırlık merkezinin optimum bölgede oluşması durumunda taşıtın tarafsız dönme karakteristiğinde stabil hale geldiği, ağırlık merkezinin taşıtın ön ve orta bölümde konumlanma durumunda ani frenleme ile yoldan çıktığı belirlenmiştir.

## The Effect ofCNG Tank Placement to Steering Characteristic at City Buses

### Keywords:

Corner Braking;  
Manoeuvre  
Characteristics;  
Steering; Heavy  
Vehicles Dynamics;  
Msc.Adams/Car

### Abstract

In this study,CAD model is developed for positions of different of passengers, number of passengers and the location of the planned inventory which will be placed on the bus. With using Msc.Adams/Car different passenger positioning, and after loading, breaking action in 100 meter radius bend is analyzed.As a result of occur the center of gravity in the right place; vehicle is identified as stable in neutral spinning characteristic. In the situation of locating gravity centers of forth of vehicle, by excessive breaking action, went off vehicles from road is observe.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Taşıtlarda fren sisteminin en önemli görevlerinden biri seyir halindeki taşıtı güvenli bir şekilde yavaşlatarak durdurma ve frenleme durumlarında taşıtın yol sınırları dışına çıkması, istemsiz şekilde şerit değiştirmesi vb. durumlar kaza sebebi olmaktadır. Hareket halindeki bir taşıt, hızı nedeniyle kinetik enerjiye ve yer değişikliği nedeniyle de potansiyel enerjiye sahiptir. Frenleme anından taşıt stabil duruma gelene kadar taşıt üzerindeki yüklü kinetik enerji, fren sisteminde ve tekerleklerde ısı enerjisine dönüşmektedir. Frenleme süresince taşıtın doğrusal kararlılığını korumasını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar, taşıtın ağırlık merkezi, yol durumu, hava durumu, pedal kuvveti ve fren

sistemi elemanlarındaki aşınma gibi parametrelerdir (Ötnü, 2015).

Otoyollarda trafik akışının güvenliği taşıt, sürücü ve çevresel etkenler arasındaki karmaşık bir fonksiyondan dinamik olarak etkilenmektedir (McRuer, et al., 1969; McRuer, et al., 1977; Yang, 1999). Taşıtların geliştirilmesinde sürücü, taşıt ve yol arasındaki ilişkinin taşıt performansına etkisi oldukça önemlidir. Literatürde, bu konularda birçok çalışma yapılmıştır. Çift şerit değiştirme (double-lane change, DLC) ve viraj manevrasının incelenmesi, üzerinde en çok durulan konular arasında olmuştur (MacAdam, 1981; Tseng, et al., 1999; W.Winsum, et al., 1999; Zhao, et al., 2000; Chou, et al., 2005; Piyabongkarn, et al., 2007; Zhuang, et al., 2008; Peng, et al., 2012).

Geniş ve ağır taşıtlarda ağırlık merkezi diğer taşıtlara göre yüksekte bulunmaktadır. Ek olarak, yükleme kapasitesinin de yüksek olması araştırmacıları manevra kabiliyeti üzerine çalışmalara yönlendirmiştir (Chou, et al., 2014). Demir ve Çavdar (2005) yaptıkları çalışmada taşıtın yük/ağırlık eğilimi, temel aşırı dönerlik/az dönerlik (oversteer/understeer) karakteristiklerini belirlemişlerdir. Taşıtın ön tarafı arka tarafından daha ağır olduğunda az dönerlik eğiliminde, arka tarafı ön tarafından daha ağır olduğunda aşırı dönerlik eğiliminde olduğu görülmüştür.

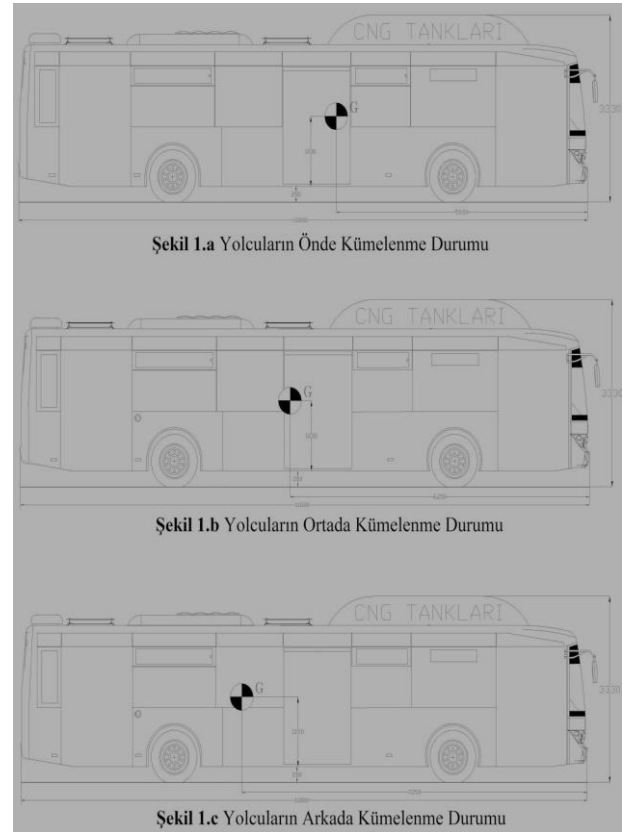
Son yıllarda yapılan çalışmalar, zaman kaybını önlemek ve maliyeti azaltmak gibi nedenlerden dolayı üretim öncesinde simülasyon yapılmasının doğru bir yaklaşım olduğunu göstermektedir (Peng, et al., 2012;Chou, et al., 2014; Chikhale, et al., 2013). Taşıt dinamiği üzerine yapılan çalışmalarda Truksim, Matlab/Simulink, AMsim ve Msc.Adams/Car gibi simülasyon programları kullanılmaktadır. Msc.Adams/Car taşıt dinamiği incelemelerinde en yaygın kullanılan simülasyon programıdır. Taşıtlar üzerindeki mühendislik problemleri Adams simülasyon ortamında dinamik olarak test edilerek mekanik ve dinamik yönden geliştirilip optimize edilebilmektedir. Nonlineer diferansiyel modelleme ve nümerik analiz gerektiren problemler Adams ile fiziksel model oluşturulup dinamik olarak analiz edilebilmektedir (Chikhale, et al., 2013).

Bu çalışmada, alçak tabanlı doğalgaz (CNG) ile çalışan şehir içi otobüslerin virajlardaki manevra karakteristiği incelenmiştir. Otobüsün doğalgaz tankının yerleşimi ve yolcuların taşıt içindeki durumlarına göre ağırlık merkezi değişimleri bir CAD programı yardımıyla elde edilmiştir. Bu farklı koşullar için otobüsün virajdaki manevra karakteristiği Msc.Adams/Car simülasyon ortamında incelenmiştir. Güncel olarak üretimi yapılmakta olan şehir içi otobüslerin virajlardaki manevra karakteristiğini geliştirmek için öneriler verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

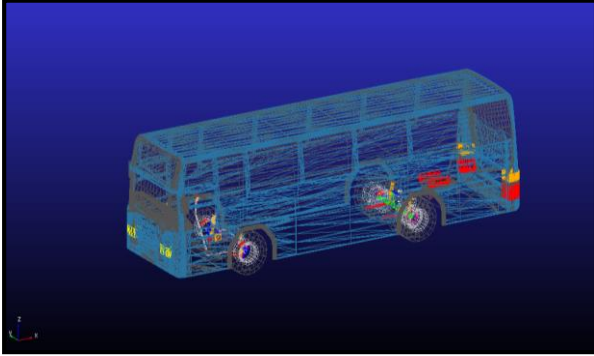
Bir CAD programı (Autodesk Inventor) kullanılarak otobüsün tasarımı yapılmıştır. Standart dizel otobüste taşıtta yolcu yokken ağırlık merkezi (-5250,1100) mm konumunda oluşmuştur. Taşıtın ağırlık merkezi konumları CAD programında gerçeğe uygun olarak tasarlanan modelin üzerinden alınmıştır. CNG ile çalışan otobüste doğalgaz tankları, klima vb. sistemlerin arkada olması nedeniyle otobüsün ön kısmında konumlandırılmıştır.

Taşıt içerisindeki bütün koltukların dolu olması ile ayaktaki yolcuların önde, ortada ve arkada kümelenme durumlarında oluşan üç değişik ağırlık merkezi Şekil 2’de görülmektedir (koltukta oturan 30 yolcu, ayakta duran 40 yolcu). Simülasyonlarda kullanılan taşıtın ağırlığı yolcular ile dolu iken 168000 N olarak hesaplanmıştır. Taşıtın ağırlık merkezi, yolcuların ön bölümde kümelenme durumunda (-5000, 1200) mm konumunda, orta bölümde kümelenme durumunda (-6250, 1200) mm konumunda, arka bölümde kümelenme durumunda (-7250, 1200) mm konumunda oluşmuştur.



### Şekil 1. CNG'li Otobüste Ağırlık Merkezi Değişimleri

Msc.Adams/Car programında simülasyonu yapılan otobüs modeli Şekil 2'de verilmiştir. CAD programında elde edilen ağırlık merkezi ve taşıtın toplam ağırlığı gibi manevra esnasında taşıt dinamiğine etki edecek olan parametreler Msc.Adams/Car ortamındaki modele işlenmiştir. Oluşturulan taşıt modelinin 50 km/h hızla girdiği virajda frenleme ile yaptığı manevranın simülasyonu yapılmıştır. Türkiye'nin fiziki şartlarından dolayı kara yollarında çok farklı yarıçaplarda virajlar bulunmaktadır. Simülasyonlarda öncelikli olarak 100 m yarıçaplı virajlar ele alınmıştır. Optimum manevra koşulunun elde edildiği "Nötr Dönme" durumu için farklı yarıçaplardaki virajlar için simülasyon tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı yarı çaplı virajlarda da ağırlık merkezinin manevra karakteristiğinde en önemli etkenlerden olduğunu göstermiştir. Yapılan simülasyonlarda güncel olarak üretilen geleneksel dizel otobüslerin 50 km/h ve 70 km/h hızlarda seyir halinde iken frenleme karakteristiği de incelenmiştir. Böylece, geleneksel dizel otobüsten yola çıkılarak taşıtın temel frenleme ve durma karakteristiği elde edilmiştir.

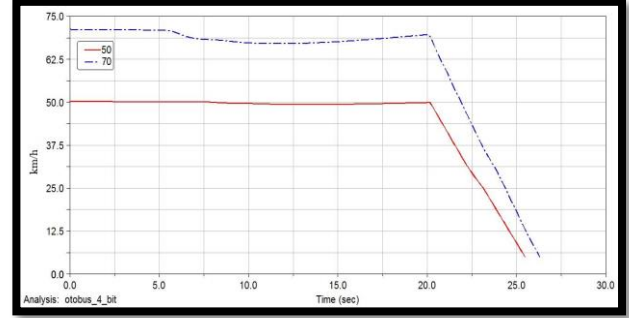


Şekil 2. MSC.Adams/Car Ortamında Simülasyon İçin Kullanılan Otobüs Modeli

### 3. Bulgular

Geleneksel dizel otobüslerin frenleme karakteristiğini ortaya koymak için otobüsün hızı 50 km/h ve 70 km/h seçilerek simülasyon yapılmıştır. Şekil 3'te görüldüğü gibi her iki hızda 20. saniyede frenleme yapılmaya başlanmıştır. Taşıt 70 km/h hızla giderken frenleme yapmadan önce hızında bir

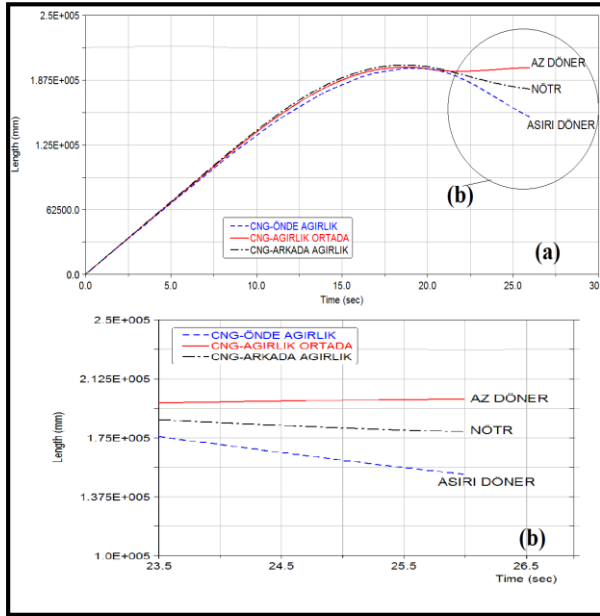
dalgalanma görülmektedir. Bu durum ağırlık merkezinin optimum noktada olmamasından ve taşıtın virajdaki manevra için hızının uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Benzer dalgalanma 50 km/h hızda minimum seviyede gözlenmektedir. Frenleme olmamasına rağmen bu dalgalanmanın görülmesinde diğer etken manevra esnasında oluşan direncin aracı yavaşlatmasıdır.



Şekil 3. Frenleme Anında Hız ve Zaman Değişimi

Ele alınan otobüslerin ağırlık merkezi, yolcu kümelenme konumu ve CNG tanklarının konumundan dolayı değişiklik göstermektedir. CNG'li otobüs üzerine ön bölümde konumlandırılan doğal gaz tanklarının ve yolcuların ayakta bekleme yerlerinin ön bölümde oluşması otobüsün ağırlık merkezini geleneksel dizel otobüsten daha ön bölümde konumlanmasına sebep olmuştur. Şekil 4.'te a kısmında simülasyon sonuçları genel olarak, b kısmında ise frenleme ve manevra karakteristiği detaylı olarak görülmektedir. Simülasyon sonuçları göstermektedir ki, her üç ağırlık merkezi konumu için 20. saniyeye kadar taşıtlar düzgün bir rota çizmektedir. Bunun sebebi taşıtların virajda gerekli manevraya uygun bir hız olan 50 km/h hızda olmasıdır. Ancak 20. saniyede yapılan ani fren uygulaması sonucunda ağırlık merkezlerinin konumuna bağlı olarak her üç taşıt farklı davranış göstermektedir. Ağırlık merkezinin önde bulunduğu durumda taşıtta frenleme sonrasında yapılan manevrada aşırı dönme (oversteer) karakteristiği ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, taşıt normal yoldan çıkarak virajın iç kısmına savrulmaktadır. Ağırlık merkezinin ortada bulunduğu durumda taşıtta frenleme sonrasında yapılan manevrada az dönme (understeer) karakteristiği ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak taşıt normal

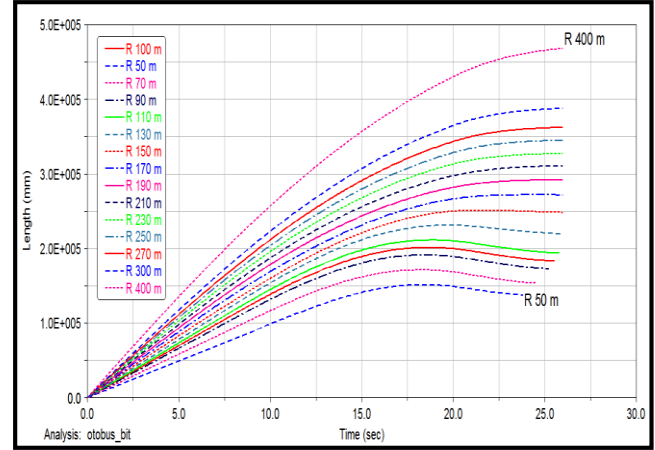
yoldan çıkmakta virajın dışına doğru savrulmaktadır. Taşıtların ağırlık merkezinin arkada olduğu durumda ise manevra devam ederken yapılan frenleme ile "Nötr Dönme" karakteristiği göstermektedir. Böylece, araç yoluna aynı yörüngede devam ederek normal yoldan savrulma göstermemektedir. Simülasyon sonuçları manevra esnasında taşıtların ve yolcu güvenliği açısından optimum ağırlık merkezi konumlanmasının ağırlık merkezinin arkada olduğu durum olduğunu göstermektedir. Taşıtların, ağırlık merkezinin konumundan bu şekilde etkilenmesi aracın yönlendirme sistemlerinin ön kısımda olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, dönme ekseninin en önde başlamasından dolayı ağırlık merkezinin arkada başlaması taşıtların hareketini olumlu etkilemektedir.



Şekil 4. CNG'li Otobüsün 100 m Yarıçaplı Virajda Manevra Karakteristiği

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre; taşıtların ağırlık merkezinin arka bölümde oluşması durumunda taşıtların dönemeçlerde frenleme anında doğrusal kararlılığı bozulmadan yavaşlamış ve durmuştur. Simülasyon sonuçlarının doğrulanması ve farklı yarıçapa sahip virajlardaki manevra karakteristiğinin incelenmesi için değişik yarıçaptaki virajlar için simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar ağırlık merkezinin arkada olduğu nötr dönme karakteristiğine sahip durum için ele alınmıştır. Yarıçap değişiminin manevra karakteristiğine etkisini ortaya koymak için yapılan simülasyonlar,

viraj yarıçapı 50 m ile 270 m arasında 20'şer metre arttırılarak yapılmıştır. Buna ek olarak, 300 m ve 400 m yarıçaplı virajlarda simülasyon yapılarak manevra karakteristiğindeki değişim ölçülmüştür. Sonuç olarak, viraj yarıçapı arttıkça otobüs yörüngesinin taşıtların güvenliği açısından daha uygun bir hale geldiği görülmektedir. Bu durum, dönme yarıçapının manevra esnasında taşıtlara etkiyen dönme kuvvetlerini doğrudan etkilediğini göstermektedir.



Şekil 5. Farklı Yarıçaplardaki Virajlarda Manevra Karakteristiği

Simülasyon sonuçları, taşıtların güvenliği açısından geleneksel olarak imal edilen otobüslerin ağırlık merkezi oluşumuna müdahale edilmesi gerektiğini göstermiştir. Bu amaçla, CNG tanklarının ön bölümden arka bölüme kaydırılması ve orta kapı arkasındaki üç sıra koltuk takımının arka bölümden ön bölüme kaydırılması otobüsün ağırlık merkezinin arka bölüme kaymasını sağlayacaktır. Bu şekilde yapılacak bir üretim ile otobüsün manevra karakteristiği ve virajdaki frenleme performansı geliştirilecektir. Böylece şehir içi toplu ulaşımda yaygın olarak kullanılan otobüslerin taşıtların güvenlik parametresi iyileştirilmiş olacaktır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Simülasyon sonuçları otobüslerde ağırlık merkezinin manevra karakteristiği açısından önemli bir parametre olduğunu göstermiştir. Önde ve ortada ağırlık merkezi oluşması durumunda taşıtların doğrusal kararlılığı bozulmaktadır. Sonuç olarak, taşıtların aşırı döner veya az döner manevra karakteristiği göstermekte ve kendi şeridinin dışına

çıkılmaktadır. Bu durum da aktif sürüş güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Ancak ağırlık merkezinin arkada oluşması durumunda nötr dönme karakteristiği oluşmaktadır. Böylece taşıt normal yolunda güvenli şekilde devam etmektedir. Taşıtın, ağırlık merkezinin konumundan bu şekilde etkilenmesi aracın yönlendirme sistemlerinin ön kısımda olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, dönme eksenin en önde başlamasından dolayı ağırlık merkezinin arkada oluşması taşıt hareketini olumlu etkilemektedir. Elde edilen sonuçlar ışığında, şehir içi otobüsleri için yeni bir yerleşim planı önerilmiştir. Bu dizayn ile ağırlık merkezi optimum bölgede oluşup taşıtın aktif sürüş güvenliği artmaktadır.

### Kaynaklar

- Chikhale, S. J. and Deshmukh, P. (2013). Comparative Analysis Of Vehicle Suspension System in Matlab-SIMULINK and MSc-ADAMS with the help of Quarter Car Model . *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(8), 4074-4081.
- Chou, C. McCoy, R. and Le, J. (2005). A literature review of rollover test methodologies. *Int. J. Veh. Saf.*, 1((1-3)), 200-237.
- Chou, T. and Chu, T.-W. (2014). An improvement in rollover detection of articulated vehicles using the grey system theory. *Vehicle System Dynamics*, 52(5), 679-703.
- Demir, A. and Çavdar, A. (2005). Taşıt Kullanım karakteristikleri açısından az dönerlik (understeer) ve aşırı dönerlik (oversteer) incelenmesi. *MTET*.
- MacAdam, C. (1981). Application of an optimal preview control for simulation of closed-loop automobile driving. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern*, 11(6), 393-399.
- McRuer, D. and D.H. Weir. (1969). Theory of manual vehicular control. *Ergonomics*, 12(4), 599-633.
- McRuer, D. Allen, R. Weir, D. and Klein, R. (1977). New results in driver steering control models. *Hum. Factors*, 19(4), 381-397.
- Ötnü, G. (2015). Bağımsız Süspansiyonlu Halk Otobüsünde Ağırlık Merkezi Değişiminin Dönme Karakteristiğine Etkisinin Analizi. *Msc. Thesis, A.K.U. Institute of Natural and Applied Sciences*.
- Peng, Y., and Xiaobo Yang. (2012). Comparison of various double-lane change manoeuvre specifications. *Vehicle System Dynamics*, 50(7), 1157-1171.
- Piyabongkarn, D. Lew, J. Rajamani, R. Grogg, J. and Yuan, Q. (2007). On the use of torque-biasing systems for electronic stability control: Limitations and possibilities. *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, 15(3), 581-589.
- Tseng, H. Ashrafi, D. Madau, Brown, T. and Recker, D. (1999). The Development of Vehicle Stability Control at Ford. *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, 4(3), 223-234.
- Winsum, W. Waard, D. and Brookhuis, K. (1999). Lane change manoeuvres and safety margins. *Transp. Res. F: Traffic Psychol. Behav.*, 2(3), 139-149.
- Yang, X. (1999). *A closed-loop driver/vehicle directional dynamics predictor*. Montreal, Canada: Ph.D. thesis, Concordia University.
- Zhao, Y. Zhang, G. and Guo, K. (2000). Handling safety simulation of driver-vehicle closed-loop system with. *Vehicle System Dynamics*, 33(3), 169-181.
- Zhuang, D. Yu, F. and Lin, Y. (2008). Evaluation of a vehicle directional control with a fractional order PD $\mu$  controller. *Int. J. Automot. Technol.*, 9(6), 679-685.