

Hız kesici tümseklerin toplu taşıma araçları üzerindeki etkileri

Ufuk KIRBAŞ^{1,*}, Erol İSKENDER²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Böl., Kurupelit kampüsü, Samsun.

²Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fak. İnşaat Müh. Böl., Of kampüsü, Trabzon.

Geliş Tarihi (Received Date): 20.06.2021

Kabul Tarihi (Accepted Date): 23.09.2021

Öz

Bu çalışmada 5, 10 ve 15 cm yüksekliklerdeki Hız Kesici Tümseklerin (HKT) toplu yolcu taşıma faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan minibüs, midibüs ve otobüs sınıfındaki taşıtlar üzerinde hızı azaltma konusundaki performansları değerlendirilmiştir. HKT'lerin taşıt hızlarını azaltma konusundaki performansları, kamera görüntüleri aracılığıyla taşıtların mesafe ortalamalı hız değerleri okunarak araştırılmıştır. Öncelikle, HKT'lerin sürücülerin hızlarını azaltma konusunda etkilemediği bir mesafede taşıt hızları (Etkilenmemiş Hız, EH) belirlenmiştir. Hız azaltma performanslarını belirlemek amacıyla her bir HKT'den geçen taşıtların -60 m, -40 m, -20 m, 0 m (üzerinden geçişte), +20 m, +40 m ve +60 m'lerdeki hızları belirlenmiştir. Tüm hız ölçümleri Serbest Akım ve Doymun Akım olmak üzere iki farklı trafik akım rejiminde ayrı ayrı yapılmıştır. Hızlar ve EH'ya göre her bir noktadaki Yavaşlatma Oranı (YaO) değerleri grafikler yardımıyla görselleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, değerlendirilen her bir HKT için hız ölçülen farklı ölçüm noktaları arasında ve her bir hız ölçüm noktası için taşıt türleri arasında istatistik benzerlikler araştırılmıştır. Yalnızca sınırlı sayıda araştırmanın bulunduğu bu konuda literatüre katkı sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Trafik, trafiği sakinleştirme, hız kesici tümsek.

Effects of speed control undulations on public transport vehicles

Abstract

In this study, Speed Control Undulations (SCU) performance at heights of 5, 10, and 15 cm in reducing speed on a minibus, midibus, and bus type vehicles, which are frequently used in public passenger transportation activities, were evaluated. SCU's performance

*Ufuk KIRBAŞ, ufuk.kirbas@omu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-2389-425X>

Erol İSKENDER, eiskender@ktu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0001-7934-839X>

in reducing vehicle speeds was investigated by reading vehicle distance average speed values through video records. First, vehicle speeds (Unaffected Speed, US) are determined at a distance where the SCUs does not affect drivers to reduce their speed. To determine the speed reduction performances, the speeds of the vehicles passing through each SCU at -60 m, -40 m, -20 m, 0 m (passing over), +20 m, +40 m, and +60 m were determined. All speed measurements were made separately in two different traffic flow regimes, Free Flow and Saturated Flow. The rate of deceleration (RoD) values at each point according to speeds and SU were visualized with the help of graphs and the results were compared. In addition, statistical similarities were investigated between different speed measurement points for each evaluated SCU and between vehicle types for each speed measurement point. Contribution to the literature has been made on this subject, where only a limited number of studies are available.

Keywords: *Traffic, traffic calming, speed control undulation.*

1. Giriş

Günümüzde, teknolojideki gelişmelerin bir sonucu olarak artan taşıt hızı, tüm kazaların şiddetini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre, her yıl 1.2 milyondan fazla insanın trafik kazalarında öldüğü ayrıca, trafik kazalarından kaynaklı yaralanmaların tüm dünyada önde gelen bir ölüm nedeni olduğu görülmektedir [1]. Dünya genelinde, trafik kazalarından ölümlerin neredeyse yarısı korumasız yol kullanıcılarından yayalar, motosiklet sürücüleri ve bisikletlilerden oluşmaktadır [1]. Tüm dünyada özellikle yayaların, yollarda oluşan trafik kazalarından ölüm oranı yaklaşık %22 iken kentsel alanlarda bu oran %36'ya kadar çıkmaktadır [1, 2]. Öte yandan DSÖ'ne göre, yayaların karıştığı bu kazalarda 50 km/sa hızda ölüm riski %80 oranında iken 30 km/sa hızda bu risk %10'a kadar azalmaktadır. Ayrıca, yapılan araştırmalar ortalama hızda %5'lik bir azalmanın tüm yaralanmalı kaza sayısında yaklaşık olarak %10, tüm ölümlü kaza sayısında %20 oranında bir düşüş sağladığını göstermektedir [3].

Trafik mühendisleri özellikle şehir içi yollarda korumasız yol kullanıcıları için hızın istenmeyen sonuçlarını azaltmak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Elektronik detektörler, uyarı ve dur işaretleri, şerit kanallaştırma, çapraz yön değiştiriciler, yol daraltıcılar, sarsma bantları ve hız kesici tümsekler (HKT) ya da diğer adıyla kasisler bu yöntemlerden bazılarıdır. Trafiği sakinleştirme amacıyla dünya genelinde uygulama kolaylığı ve ekonomik olmaları sebebiyle HKT'lerin sıklıkla tercih edildiği bilinmektedir. Trafiği düzenlemede birden çok görevi yerine getirmek amacıyla geliştirilen HKT'ler boyutlarına ve kesit geometrilerine göre dar HKT (Speed Bump), geniş HKT (Speed Hump), hız masası (Speed Table) ve hız yastığı (Speed Cushion) gibi isimler almaktadırlar. Dünya genelinde, trafik sakinleştirme uygulamalarında sıklıkla tercih edilen dar ve geniş HKT'ler yolun platform genişliğince sürekli sabit kesitli olarak uygulanmaktadırlar. 1 m genişliğe kadar HKT'ler dar kategorisinde değerlendirilirken, 1 m'nin üzerinde genişlikteki HKT'ler geniş kategorisinde değerlendirilmektedirler [4-6]. Ayrıca, uygulamada taşıtların hareket yönüne göre sinüzoidal, dairesel ve parabolik geometrilerde tatbik edilebildikleri bilinmektedir.

Genel olarak, trafiği sakinleştirme uygulamaların trafik hacmini (olumlu veya olumsuz) etkilediği bilinmektedir [6]. HKT'lerin uygulaması basit ve ucuz oldukları için yayılmasının önüne geçilememektedir. Öte yandan, HKT'ler uygulandıkları yol kesimlerinde tüm araçları eşit derecede olumsuz etkilemektedir. Bu durum hız tahdidi bulunmayan itfaiye, ambulans ve polis araçları gibi acil durum araçlarında da gecikmelere neden olmaktadır. Hız limitlerine uyulmaması sonucu araçların kontrolünü kaybetmesi türünde olası kazalar, araçlarda oluşan ciddi mekanik hasarlar veya trafiğin istenmeyen şekilde alternatif güzergahlara yönlendirilmesi HKT'lerin uygulanmasında diğer olumsuzluklar arasında yer almaktadır [4-6]. Elbette ki doğru planlanmış, trafik sirkülasyon projeleri hazırlanmış ve verimliliği irdelenmiş HKT uygulamaları ile birçok olumsuzluğun önüne geçilebilmektedir.

HKT'lerin trafiği sakinleştirme amacıyla ilk kez 1970'de Delft'de kullanıldığı bilinmektedir [6]. HKT'lerin verimliliğini değerlendirmek amacıyla farklı hız ortalamalarının (aritmetik ortalama, 50. yüzdeler ve 85. yüzdeler) kriter olarak kullanıldığı öncesi-sonrası değerlendirmelerini içeren çalışmalar literatürde yer almıştır [2, 7, 8]. Antić vd. farklı yüksekliklerdeki dar HKT'lerin hızı azaltma konusundaki etkilerini araştırmışlardır [2]. Çalışmada, 96 cm genişliğinde 3, 5 ve 7 cm yüksekliklerdeki tümseklerin etkileri değerlendirilmiştir. Aynı trafik şeridinde 50 m arayla tesis edilen HKT'lerde imal edilmeden önce, 1 gün sonra ve 30 gün sonra olmak üzere üç farklı zamanda geçen taşıtların hız değerleri okunmuş ve hız değerleri bulunmuştur. 5 cm ve 7 cm yüksekliğindeki HKT'lerin, savunmasız yol kullanıcılarının emniyetine, özellikle yayaların güvenliğine katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır. Cottrell vd. çalışmalarında yaklaşık 9 cm yüksekliğinde geniş HKT ve Hız masalarını karşılaştırmışlardır [6]. Değerlendirme yapılan 18 noktanın 15'inde 85. yüzdeler hızlarda 13.8 km/sa - 5.4 km/sa aralığında değişen hız düşümlerinin sağlandığı tespit edilmiştir. Pau ve Angius çalışmalarında 3 cm yüksekliğindeki dar HKT'lerin hız azaltma konusundaki verimliliğini araştırmışlardır. Yaya geçitleri öncesine konulan tümseklerin çok etkili olmadığını gözlemlemişlerdir. Ewing [9] çalışmasında ortalama hızı 3.65 m genişliğindeki geniş HKT'lerin %22, 4.25 m genişliğindekilerin ise %23 azalttığını (yükseklikler belirtilmemiş) saptamıştır. Ayrıca yazar, 10 adet farklı trafik sakinleştirme uygulamasında yaklaşık 400 adet veri ile yaptığı değerlendirmede geniş HKT'lerin performansının bulunduğu konuma göre değişiklik gösterdiğini rapor etmiştir. Evans [10] çalışmasında, 8.5 cm yükseklikte bir geniş HKT'nin ortalama hızı yaklaşık %28 oranında ve 7.5 cm yükseklikte bir geniş HKT'nin yaklaşık olarak %25 oranında azalttığını belirlemiştir. Mak [7] çalışmasında, HKT'leri karşılaştırmış ve sürüş hızını yaklaşık olarak geniş olanların %24 oranında ve dar olanların %44 oranında azalttığını saptamıştır. Genel olarak çalışmalardan, yükseklik arttıkça trafiği sakinleştirme konusundaki verimliliğin arttığı anlaşılmaktadır. Özellikle 5 cm üzerindeki yüksekliklerde hızın %30 ve üzeri gibi belirgin oranlarda azaldığı tespit edilmiştir.

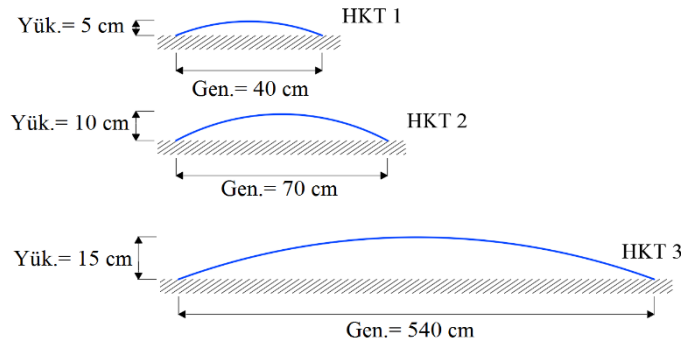
Literatürde HKT'leri taşıt sınıfına göre hızı azaltma konusundaki verimlilikleri açısından karşılaştıran çalışma yok denecek kadar azdır. Bu çalışmada 5, 10 ve 15 cm yüksekliklerdeki HKT'lerin toplu taşıma faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan minibüs, midibüs ve otobüs sınıfındaki taşıtlar üzerinde hızı azaltma konusundaki performansları değerlendirilmiştir. HKT'lerin taşıt hızlarını azaltma konusundaki performansları kamera görüntüleri aracılığıyla taşıtların mesafe ortalamalı hız değerleri okunarak yapılmıştır. Öncelikle, HKT'lerin sürücülerini hızlarını azaltma konusunda etkilemediği bir mesafede taşıt hızları (Etkilenmemiş Hız, EH) belirlenmiştir. Hız azaltma

performanslarını belirlemek amacıyla her bir HKT'den geçen taşıtların -60 m, -40 m, -20 m, 0 m (üzerinden geçişte), +20 m, +40 m ve +60 m'lerdeki hızları belirlenmiştir. Tüm hız ölçümleri Serbest Akım (SA) ve Doygun Akım (DA) olmak üzere iki farklı trafik akım rejiminde ayrı ayrı yapılmıştır. Hızlar ve EH'ya göre her bir noktadaki Yavaşlatma Oranı (YaO) değerleri grafikler yardımıyla görselleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, değerlendirilen her bir HKT için hız ölçülen farklı ölçüm noktaları arasında ve her bir hız ölçüm noktası için taşıt türleri arasında istatistik benzerlikler araştırılmıştır. Yalnızca sınırlı sayıda araştırmanın bulunduğu bu konuda literatüre katkı sağlanmıştır.

2. Malzeme ve yöntem

2.1. HKT Enkesitleri

HKT'lerde sürüş konforunu etkileyen en önemli faktörlerin maruz kalınan ivmenin zirve değerleri, sürücüye verdiği psikolojik rahatsızlık (bilişsel uyarılar) ve taşıt hızının değişimi olduğu düşünülmektedir. HKT yüksekliği ve hızın artışı ile düşey titreşim çok fazla artmasına rağmen yaklaşık 76 mm üzerindeki yüksekliklerde bu durumun sürücüler tarafından çok fazla algılanmadığı fark edilmiş, bu nedenle bu yüksekliğin önemli bir ayırım olduğu görülmüştür [11]. Bu bilgi ışığında, ölçümler için bu değerlerin üstünde ve altında kalacak şekilde yükseklikler seçilmiştir. HKT'ler yol enkesitinin bir parçası olarak yani üstyapı ile aynı malzemeden üretilebilmesinin yanında ilave elemanlar (kauçuk, plastik, beton, kompozit vb.) şeklinde de üretilebilmektedir. Çalışmada incelenen HKT'lerden HKT1 plastik, HKT2 asfalt ve HKT3 beton olarak imal edilmiş olup yüzey pürüzlülükleri yok sayılacak kadar azdır. İncelenen HKT kesitlerinin geometrik açıklamaları Şekil 1'de gösterilmektedir.



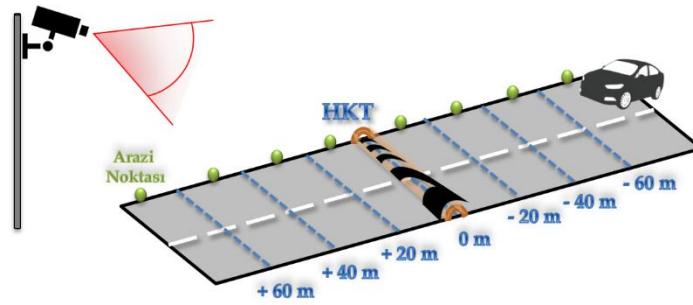
Şekil 1. Çalışmada kullanılan HKT Kesit Bilgileri.

Taşıtların trafik sirkülasyonu içindeki hızlarının trafiği sakinleştirme amacıyla uygulanan aygıtlar haricinde yol geometrisi, trafik hacmi, sürüş alışkanlıkları vb. sebeplerle zorunlu olarak azaldığı bilinmektedir. Özellikle yol geometrisi ve trafik hacminden etkilenmemesi için değerlendirilen HKT'ler $\% \pm 3$ boyuna eğimden fazla olmayan yol kesimlerinde ve eşdüzey kavşaklardan olabildiğince uzak mesafelerde seçilmesine dikkat edilmiştir.

2.2. Hız Ölçümü ve Değerlendirmesi

Taşıtların hızları kamera görüntüleri aracılığıyla mesafe ortalamalı hız değerleri okunarak yapılmıştır. Mesafe ortalamalı hız değerleri ortalama hızı belirlenmek istenen noktanın öncesinde ve sonrasında arazide belirlenen iki nokta arası gerçek mesafenin ölçülmesi ve video görüntülerinde taşıtların o noktalar arasındaki geçiş süreleri

okunmasıyla elde edilen verilerin Newton'un hız modelinde kullanılmasıyla elde edilmiştir. Verilerin derlenmesinde yaklaşık 124 saatlik görüntü çözümlenmiştir ve 5432 adet hız okuması yapılmıştır. Yapılan tüm hız ölçümleri hava durumunun trafik üzerindeki etkisini en aza indirmek amacıyla yağışsız, görüşün açık olduğu günlerde yapılmıştır. Hız azaltma performanslarını belirlemek amacıyla öncelikli olarak taşıt sürücülerinin hızlarını azaltma konusunda HKT'lerden etkilenmediği bir mesafede her bir HKT için EH değerleri belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde, yaklaşık 125 – 150 m kadar önce mesafelerde sürücülerin HKT'lerden kaynaklı olarak hızlarını çok fazla azaltmadıkları yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır [7, 12]. Bu amaçla EH ölçümleri HKT'lerden yaklaşık olarak 125 – 150 m öncesinde yapılmıştır. Sonrasında yine her bir HKT'den geçen taşıtların akım doğrultusunda -60 m, -40 m, -20 m, 0 m (üzerinden geçişte), +20 m, +40 m ve +60 m'deki hızları belirlenmiştir. Açıklanan hız ölçüm yöntemi şematik olarak Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Mesafe ortalama hız ölçüm yöntemi şematik gösterimi.

Trafiğin türetilmiş değişkenleri olan hız, hacim ve yoğunluk parametrelerinin göreceli değişimi trafiğin akım karakteristiğini, diğer bir deyişle rejimini belirlemektedir. Karayolları kapasitesi el kitabına (Highway Capacity Manual, HCM) [13] göre trafik akım koşulu servis düzeyi olarak A düzeyinde oluşan hıza Serbest Akım Hızı (SAH) adı verilmektedir [13]. Bu trafik koşulunda taşıtların hiçbir şekilde hareket halindeyken birbirlerini hız azaltma konusunda etkilemediği varsayılmaktadır. HCM trafik rejimini 3 kategoride değerlendirmektedir. Serbest Akım (SA) rejiminde belli bir akım oranına kadar serbest hızın korunduğu, sonrasında taşıtların birbirlerinin hızlarını azaltacak şekilde etkilemeye başladığı rejim evresi olarak kabul edilmektedir. Kararsız Akım (KA) rejimi oluşan şişe boynu sonrasında (akım aşağı) taşıtların serbest hızlarını tekrar koruyabildiği fakat öncesinde mutlaka birbirlerini yavaşlatma eğiliminde oldukları koşul olduğu bilinmektedir. Zorlamalı Akım (ZA) rejimi ise gerek akım yukarı gerekse akım aşağıda taşıtların birbirlerinin hızlarını azaltma eğiliminde olduğu koşulları ifade etmektedir [13]. Çalışmada, taşıtların hızlarını ziyadesiyle etkileyen bu farklı trafik rejimlerinde HKT'lerin performanslarını belirlemek için hız ölçümleri iki farklı trafik rejiminde yapılmıştır. Bunlar SA ve ZA trafik rejimleridir. Bu rejimleri arazide trafik analiz çalışmaları yapmadan tespit edebilmek imkansızdır. Bu nedenle, incelenen hız ölçümlerinde tek başına HKT'lerden geçişlerde taşıtların SA trafik rejiminde, çok sayıda ve birbirini etkileyecek şekilde geçen taşıtların ise ZA trafik rejiminde olduğu kabul edilmiştir. Bu kabul ışığında hız ölçümleri tamamlanmıştır. Ayrıca, doğası itibarıyla trafik rejimlerini keskin bir şekilde ayırmanın mümkün olmaması sebebiyle ölçümler sırasında KA trafik rejiminde olan bazı taşıtların da ZA rejiminde sayılmış olabileceği kabul edilmelidir. Bu nedenle çalışmada, ZA rejiminde ölçülen taşıt hızlarından kastın ZA ve KA trafik rejimlerinin her ikisini de kapsadığı kabul edilerek sonuçlar irdelenmelidir. Yapılan çalışmadan SA ve ZA trafik rejiminde akım koşullarını gösteren örnek görüntüler Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Çalışmadan (a) SA trafik rejiminde, (b) ZA trafik rejiminde akım koşullarını gösteren örnek görüntüler.

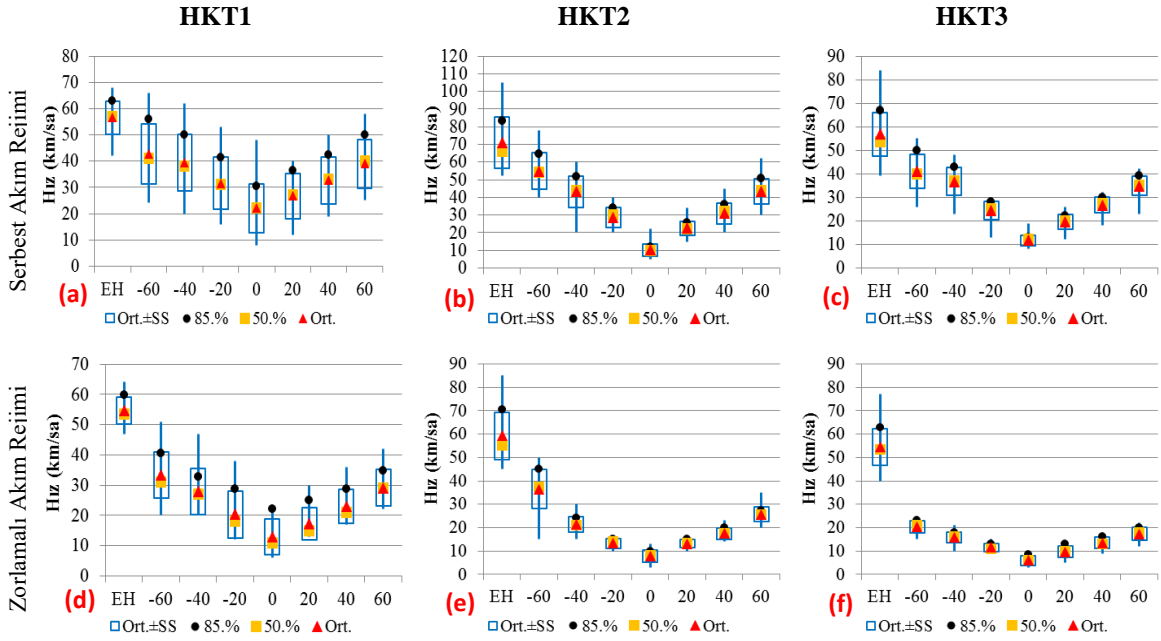
3. Hız azaltma performansları

Çalışmada HKT'lerin üzerlerinden geçen taşıtların hızlarını azaltma konusundaki başarıları incelenmiştir. Taşıtların hızlarının değerlendirilmesi konusunda yapılan birçok çalışmada hızın 85. yüzdelik, 50. yüzdelik ve aritmetik ortalamalı hız olmak üzere üç farklı bileşen kullanılarak incelendiği anlaşılmaktadır [2, 4, 7, 14-16]. 85. yüzdelik hız taşıtların %85'inin aşmadığı hız eşliğini, 50. yüzdelik hız ise taşıtların %50'sinin aşmadığı hız eşliğini ifade etmektedir.

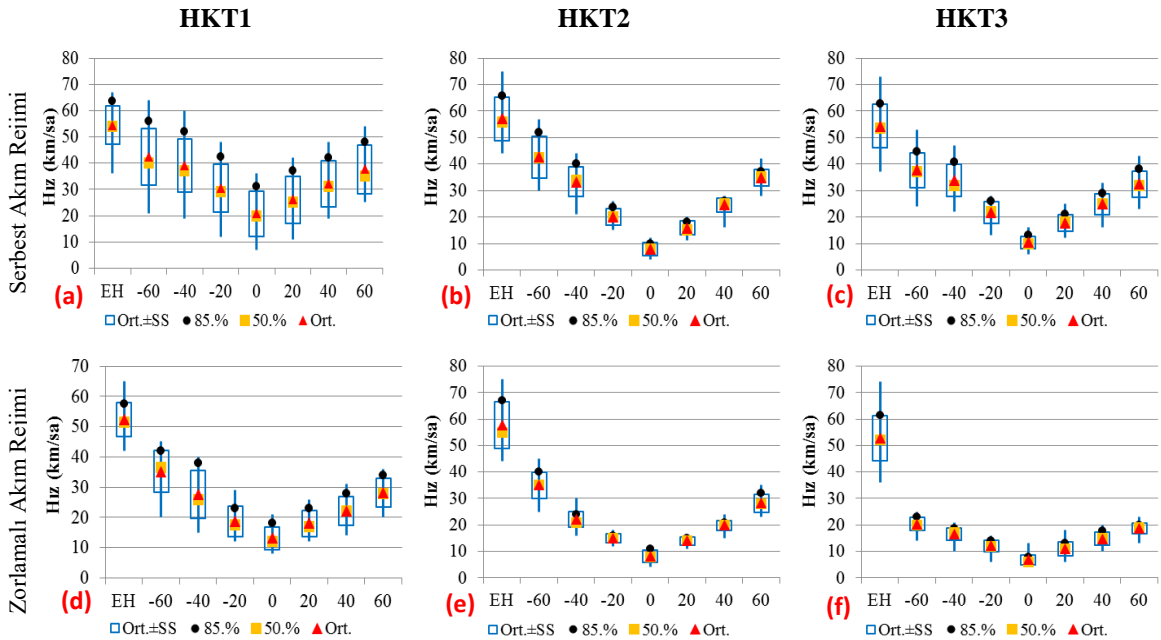
Ülkemizde uygulanan mevzuata göre toplu taşıma araçları sürücü dâhil 10 ila 15 kişi taşıma kapasitesi olanlar minibüs, 16 ila 25 kişi taşıma kapasitesi olanlar midibüs ve 26 kişi ve üzerinde taşıma kapasitesi olanlar otobüs olmak üzere üç farklı kategoride değerlendirilmektedir [17]. Çalışmada, minibüs, midibüs ve otobüs türü taşıtların, geometrileri önceki bölümde belirtilen HKT1, HKT2 ve HKT3 kodlu HKT'lerden geçişleri esnasındaki hız değişimleri analiz edilmiştir. Her bir HKT için ayrı ayrı taşıtların türleri değerlendirilerek EH, -60, -40, -20, 0, +20, +40 ve +60 noktalarında SA ve ZA trafik akım rejimleri için taşıtların hızları belirlenmiştir. Hız değişimleri minibüs için Şekil 4'de, midibüs için Şekil 5'de ve otobüs için Şekil 6'da görülmektedir. Aynı zamanda şekillerde, ölçülen hız verilerinin değişimlerini yorumlayabilmek için çeyrekler açıklığı gösterimleri de yer almaktadır.

Hız ölçümlerinin yapıldığı üç farklı HKT'de kentsel yol ağı üzerinde olduğu için EH değerlerinin kentsel hız sınırlarına yakın olduğu dikkat çekmektedir. Şekiller incelendiğinde az farkla da olsa genel itibariyle SA rejiminde ZA'ya nazaran tüm noktalarda taşıtların hızlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Buradan HKT'lerin taşıtların hızlarını azaltma konusundaki yeteneklerinin trafiğin içinde bulunduğu akım rejimine de bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan, ölçülen her bir noktada hızlardaki değişim aralığının SA trafik akım rejiminde ZA'ya nazaran çok daha geniş olduğu şekillerden görülmektedir. Diğer bir deyişle, ZA rejiminde taşıtlar birbirlerine daha yakın hızlarda seyahat etmektedirler. Minibüs, midibüs ve otobüs türü taşıtlarda geçiş hızlarının bu sıralama ile giderek düştüğü, dolayısıyla kentsel trafik koşullarında taşıtların boyutlarının hızı azaltmada etkili olduğu da dikkat çekmektedir. Öte yandan, beklendiği şekilde HKT yükseklikleri arttıkça (5, 10, 15 cm) yanaşma, üzerinden geçiş ve uzaklaşma noktalarındaki tüm hızların azalmasının yanında hızların dağılımındaki uç noktaların da birbirlerine yanaştığı dikkat çekmektedir. Diğer bir deyişle taşıtların

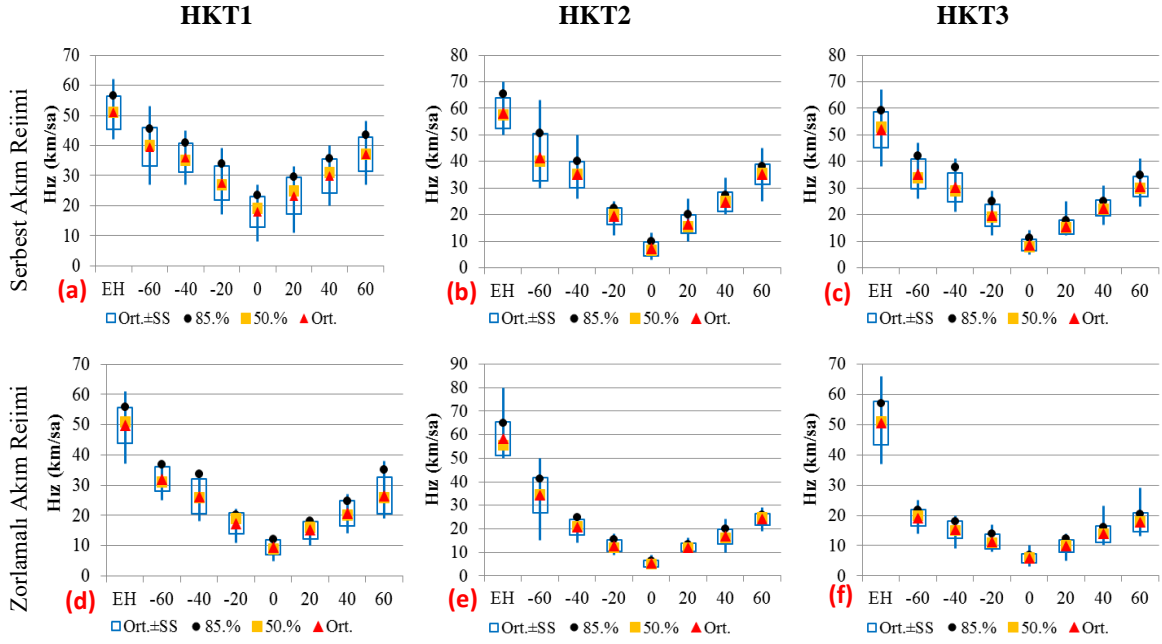
hızlarındaki farklar oldukça küçülmektedir. Buna mukabil EH değerleri çok fazla değişmemektedir.



Şekil 4. Minibüs türü taşıtların serbest akım rejiminde (a) HKT1, (b) HKT2, (c) HKT3, zorlamalı akım rejiminde (d) HKT1, (e) HKT2, (f) HKT3 için ölçülen hız değişimleri.

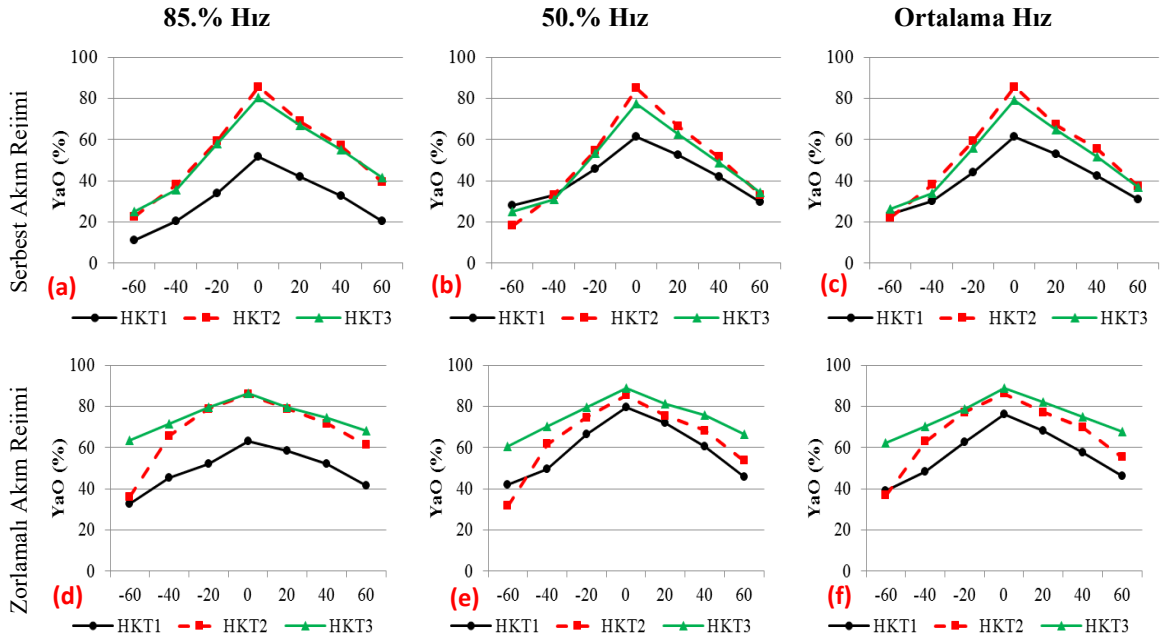


Şekil 5. Midibüs türü taşıtların serbest akım rejiminde (a) HKT1, (b) HKT2, (c) HKT3, zorlamalı akım rejiminde (d) HKT1, (e) HKT2, (f) HKT3 için ölçülen hız değişimleri.

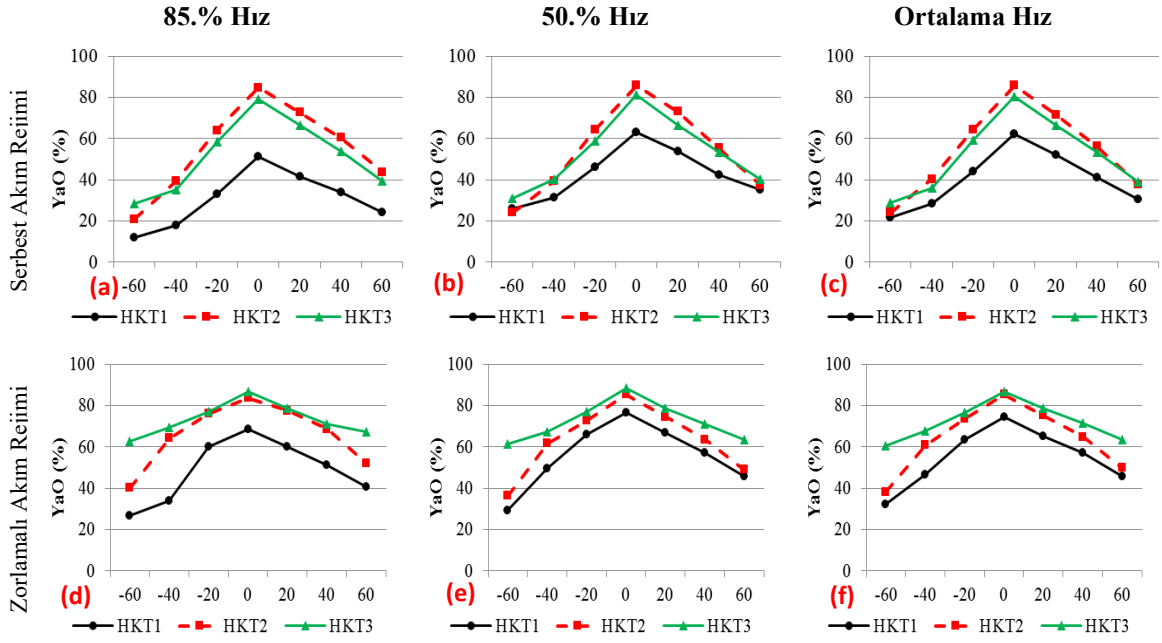


Şekil 6. Otobüs türü taşıtların serbest akım rejiminde (a) HKT1, (b) HKT2, (c) HKT3, zorlamalı akım rejiminde (d) HKT1, (e) HKT2, (f) HKT3 için ölçülen hız değişimleri.

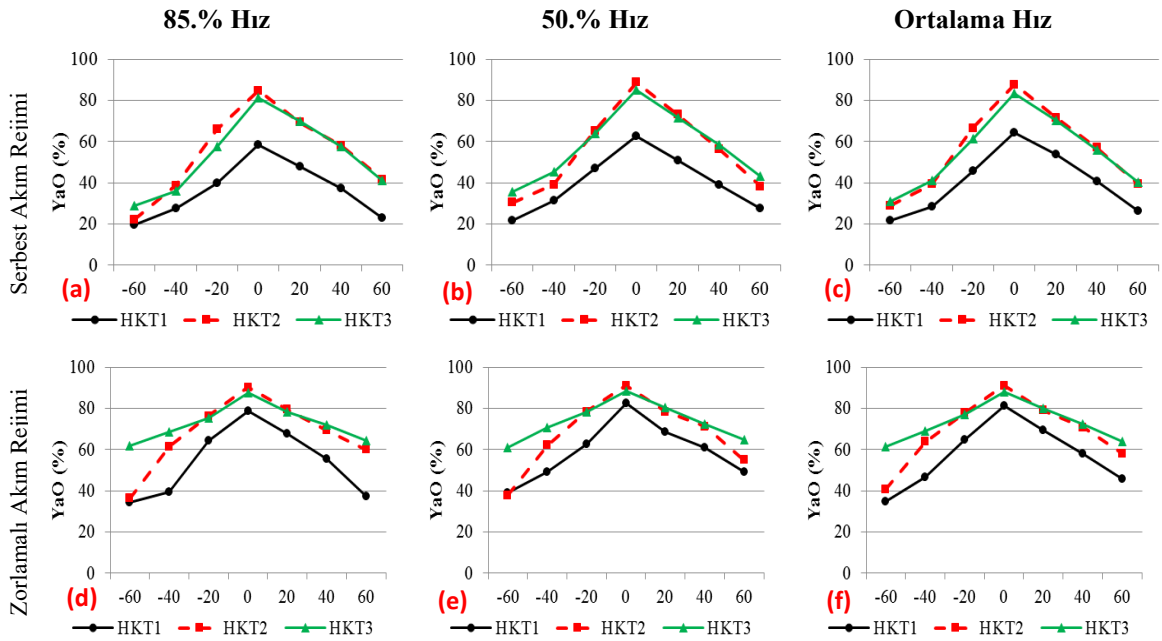
Çalışmada, HKT'ler öncesindeki ve sonrasındaki taşıt hızları belirlenmiş ve farklı parametrelere göre karşılaştırılmıştır. Fakat her ne kadar hız ölçümü yapılan tüm HKT'lerde trafik karakteristikleri birbirine benzese de EH değerleri birbirlerinin tam olarak aynısı ölçülememektedir. Bu nedenle, HKT'lerin taşıtların hızlarını azaltma konusundaki performansları her bir ölçüm noktasındaki EH'ye göre yavaşlatma oranı (YaO) değerleri bulunarak tekrar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre SA ve ZA rejimleri için 85. yüzdelik hız, 50. yüzdelik hız ve aritmetik ortalamalı hız değerlerinin her bir noktadaki değişimleri minibüs için Şekil 7'de, midibüs için Şekil 8'de ve otobüs için Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 7. Minibüs türü taşıtların serbest akım rejiminde (a) HKT1, (b) HKT2, (c) HKT3, zorlamalı akım rejiminde (d) HKT1, (e) HKT2, (f) HKT3 için bulunan YaO değerleri.



Şekil 8. Midibüs türü taşıtların serbest akım rejiminde (a) HKT1, (b) HKT2, (c) HKT3, zorlamalı akım rejiminde (d) HKT1, (e) HKT2, (f) HKT3 için bulunan YaO değerleri.



Şekil 9. Otobüs türü taşıtların serbest akım rejiminde (a) HKT1, (b) HKT2, (c) HKT3, zorlamalı akım rejiminde (d) HKT1, (e) HKT2, (f) HKT3 için bulunan YaO değerleri.

Minibüs, midibüs ve otobüs olmak üzere tüm taşıt türlerinde SA ve ZA rejimleri için 85. yüzdelik hız, 50. yüzdelik hız ve aritmetik ortalamalı hızlara göre bulunan YaO değerleri incelendiğinde HKT2 ve HKT3 tümseklerinin hızı azaltma konusunda birbirlerine benzedikleri görülmektedir. Hızı azaltma konusunda HKT1'in diğer ikisinden daha az başarılı olduğu fark edilmektedir. Tüm taşıt türlerinde SA rejiminde

tüm ölçüm noktalarında HKT2 ve HKT3 birbirlerine benzer etki gösterirken, ZA koşullarında tümsek üzerinde (0 m'de) benzer sonuçlar gösterdiği fakat öncesinde ve sonrasında HKT2'nin daha başarılı olduğu görülmektedir. Diğer bir değişle ZA rejimlerinde taşıtlar özellikle – 60 ve – 40 m'lerde belki de önündeki taşıtın görüşü zayıflatmasından kaynaklı HKT3'de hızlarını HKT2'ye nazaran daha az azalttığı anlaşılmaktadır.

Tüm hız değerlerinde bir HKT'nin taşıtı etkileme bölgesi kabul edilebilecek – 60 m ila +60 m aralığında, SA rejiminde minibüs türü taşıtların hızlarını HKT1'de %38, HKT2'de %51, HKT3'de ise %50 oranında, ZA trafik rejiminde ise HKT1'de %55, HKT2'de %66, HKT3'de ise %75 oranında azalttığı görülmektedir. Aynı aralıkta midibüs türü taşıtların hızlarını HKT1'de %38, HKT2'de %55, HKT3'de ise %52 oranında, ZA trafik rejiminde ise HKT1'de %53, HKT2'de %64, HKT3'de ise %73 oranında azalttığı anlaşılmaktadır. Otobüs türü taşıtların ise hızlarını HKT1'de %39, HKT2'de %55, HKT3'de ise %55 oranında, ZA trafik rejiminde ise HKT1'de %57, HKT2'de %68, HKT3'de ise %73 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Değerlendirme akım rejiminden bağımsız yapıldığında minibüs türü taşıtların hızlarını HKT1'de %46, HKT2'de %59 ve HKT3'de %62 oranında azalttıkları görülmektedir. Midibüs türü taşıtların hızlarını HKT1'de %45, HKT2'de %60 ve HKT3'de %62 oranında azalttıkları ve otobüs türü taşıtların hızlarını HKT1'de %48, HKT2'de %62 ve HKT3'de %64 oranında azalttıkları görülmektedir. Akım rejiminden ve taşıt türünden bağımsız olarak değerlendirme yapıldığında ise toplu taşıma araçlarının HKT1'den geçişlerde ortalama olarak hızlarını %47 oranında, HKT2'den geçişlerde %60 oranında ve HKT3'den geçişlerde %63 oranında azalttıkları anlaşılmaktadır. Değerlendirmelere ilaveten bilgi olarak Tablo 1'de HKT'lerin üzerlerinden (0 m) geçişlerde hesaplanan YaO değerleri verilmiştir.

Tablo 1. HKT üzerinden (0 m) geçişlerde YaO (%) değerleri.

		HKT1			HKT2			HKT3		
		Minibüs	Midibüs	Otobüs	Minibüs	Midibüs	Otobüs	Minibüs	Midibüs	Otobüs
Serbest Akım	85.%	52	51	58	86	85	85	81	79	81
	50.%	61	63	63	85	86	89	78	81	85
	Ort.	61	62	64	86	86	88	79	80	83
Zorlamalı Akım	85.%	63	69	79	86	84	90	86	87	88
	50.%	79	77	82	85	85	91	89	88	88
	Ort.	76	75	81	86	85	91	89	87	88

Yapılan bu değerlendirmelerin ışığında tüm taşıt türlerinde HKT2 ve HKT3'ün hızı azaltma konusundaki başarılarının birbirine benzemesi tamamen geometrinin sürücü üzerindeki etkisi ile açıklanabilmektedir. HKT2, 10 cm yüksekliğe ve 70 cm genişliğe sahipken HKT3, 15 cm yüksekliğe 540 cm genişliğe sahiptir. Sürücüler yüksekliği belli bir değerde olmasına rağmen genişliği az olan (dar) HKT'lerle yüksekliği daha fazla olmasına rağmen daha geniş olan HKT'leri benzer tehdit olarak algılayabilmektedirler. Bu savı çalışmada değerlendirilen HKT'lerden hızları ölçülen toplu taşıma araçlarının gün içerisinde dahi çok defa geçtiği dikkate alındığında, HKT geçişlerinde sürücüler üzerinde oluşan tüm vücut titreşiminin bu iki HKT için benzer değerlerde olması ihtimali ile de açıklamak mümkün olabilir. Şüphesiz ki bu konuda bir iddiada

bulunmak için arazide titreşim ölçümleri yapılarak sonuçların incelenmesi gerekmektedir.

YaO değerlerinin literatürdeki benzer çalışmalara göre fazla olması hız ölçümü yapılan bölgedeki taşıtların hız limitlerine uymama alışkanlığının yaygın olması ile açıklanabilmektedir. Özellikle SA rejiminde 85. yüzdelik hız eşik değerlerinin 50. yüzdelik hız ve ortalama hız değerlerine nazaran hız azaltma oranlarını nispeten daha az belirlediği görülmektedir. Neticesinde, SA rejimlerinde hız etüdülerinde güvenli tarafta kalmak için 85. yüzdelik hız limitinin kullanılabilmesi düşünülmektedir. Diğer değerlendirmelerde birbirlerine yakın sonuçların çıktığı görülmektedir.

4. Tartışma

Dünyada birçok otorite tarafından oldukça yaygın olarak kullanıldığı için bu tekniğin sanki hızdan kaynaklanan her türlü problemin çözümünde kullanılacak adeta bir “panacea” olduğu düşünülmektedir [15]. Bölgenin trafik karakteristiği, sürüş alışkanlıkları ve yol geometrileri yeterince dikkate alınmadan uygulanan bu yöntemin önemli oranda yanlış ve gereksiz kullanımları beraberinde getirdiği mutlaka akıllardan çıkarılmaması gereken bir durumdur.

Ayrıca, çalışmada değerlendirilen her bir HKT için hız ölçülen farklı ölçüm noktaları arasında ve her bir hız ölçüm noktası için taşıt türleri arasındaki istatistik benzerlikler araştırılmıştır. Değerlendirmeler SA ve ZA rejimleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Kıyaslamayı homojenize edebilmek amacıyla YaO değerleri kullanılmıştır. Taşıt hızı ölçüm noktaları arasındaki istatistiksel değerlendirmelerde Anova testi kullanılmıştır. Bu bağlamda, öncelikle hız değerleri ile EH değerleri karşılaştırılarak bulunan YaO verilerinin her biri Kolmogorov-Smirnov testi yapılarak verileri normal dağılıma uydukları teyit edilmiştir. Tüm verileri bir arada değerlendirebilmek için çok örneklem testi değerlendirme yaklaşımları kullanılmıştır. Verilerin karşılıklı olarak ilişkilendirebilmesi için eşit varyans varsayımının sağlanması durumu denetlenerek Post-Hoc testlerinden eşit varyans sağlanıyorsa Tukey testi, sağlanmıyorsa Tamhane’s T2 testi kullanılarak karşılaştırmaların anlamlılık değerleri hesaplanmıştır. Her bir HKT için farklı hız ölçüm noktalarında farklı taşıt türleri arasındaki istatistik anlamlılık değerleri Tablo 2’de özet olarak görülmektedir.

Tablo 2. Post Hoc Analiz Anlamlılıkları.

		HKT1			HKT2			HKT3		
		MN-MD	MN-OT	MD-OT	MN-MD	MN-OT	MD-OT	MN-MD	MN-OT	MD-OT
Serbest Akım	-60 m	0.954	0.924	1.000	0.949	0.067	0.548	0.741	0.250	0.873
	-40 m	0.965	0.966	1.000	0.925	0.976	0.983	0.873	0.016	0.187
	-20 m	1.000	0.966	0.959	0.131	0.174	0.622	0.241	0.009	0.478
	0 m	0.993	0.749	0.897	0.999	0.002	0.424	0.392	0.000	0.009
	+20 m	0.996	0.996	0.970	0.101	0.084	1.000	0.440	0.000	0.014
	+40 m	0.981	0.961	1.000	0.988	0.882	0.969	0.807	0.042	0.329
	+60 m	1.000	0.524	0.582	0.998	0.902	0.914	0.807	0.439	0.944
Zorlamalı Akım	-60 m	0.394	0.658	0.910	0.951	0.567	0.722	0.672	0.942	0.941
	-40 m	0.676	0.963	1.000	0.533	0.924	0.136	0.123	0.559	0.814
	-20 m	0.993	0.924	0.982	0.821	0.886	0.000	0.092	0.418	0.865
	0 m	0.929	0.179	0.013	0.006	0.000	0.000	0.013	0.041	0.014
	+20 m	0.691	0.943	0.253	0.022	0.157	0.000	0.015	0.148	0.048
	+40 m	0.998	0.998	0.977	0.003	0.836	0.000	0.011	0.067	0.529
	+60 m	0.995	0.999	1.000	0.031	0.308	0.000	0.009	0.583	0.966

(MN: Minibüs, MD: Midibüs, OT: Otobüs)

Tablo 2'deki dolgulu hücreler satırlardaki hız ölçüm noktaları ile sütunlardaki ikili taşıt türü karşılaştırmaları arasında istatistiksel olarak farkların anlamlı olduğunu (farklı olduğunu) göstermektedir.

Tablo 2 incelendiğinde üç farklı türdeki taşıtların HKT1'den SA koşullarında geçişlerinde hızlarını azaltma oranlarında (YaO) istatistiksel olarak anlamlı bir farkın oluşmadığı, ZA koşullarında ise midibüs ve otobüs türü taşıtlar arasında HKT üzerinde bir farklılığın olduğu görülmektedir. HKT1'in geometrisinin taşıt türleri arasında hızı azaltma hususunda önemli bir farklılığa sebebiyet vermediği anlaşılmaktadır. Hızı azaltma oranı anlamında tüm taşıt türlerinde ve akım rejimlerinde HKT2 ve HKT3 geçişlerinde birbirine benzer sayısal değerler elde edildiği Şekil 7, 8 ve 9'da görülebilmektedir. Fakat bu oranlar istatistik olarak değerlendirildiğinde farklı sonuçlar tespit edilmektedir. SA koşullarında minibüs ve otobüs türü taşıtların HKT2'den geçişlerinde yalnızca tümsek üzerinden geçişte bir farklılık olduğu diğer noktalarda hızı azaltma miktarlarının birbirlerine benzer olduğu görülmektedir. Fakat aynı akım koşullarında HKT3'den geçişlerinde minibüs ve otobüs arasında -40 m ile +40 m aralığında hızı azaltma oranlarında farkların olduğu dikkat çekmektedir. Öte yandan midibüs ve otobüs arasında 0 m ile +20 m'de yine farklılıkların olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum taşıtların birbirlerinde en az etkilendiği SA rejiminde yüksek HKT'lerin hızı azaltma etkisinin taşıtın boyutlarıyla ilgili olduğunu akıllara getirmektedir. ZA rejiminde ise tümsek üzerinde tüm taşıt türleri arasında hız azaltma anlamında farkların olduğu açıkça görülmektedir. Buna mukabil HKT2 geçişlerinde minibüs ve midibüs arasında tümsek üzerinden +60 m'ye kadar hız azaltmada farklılığın olduğu, midibüs ve otobüs arasında bu farklılığın -20 m'den başlayıp +60 m'ye kadar devam ettiği görülmektedir. HKT3 geçişlerinde ise benzer şekilde minibüs ve midibüs arasında tümsek üzerinden +60 m'ye kadar hız azaltmada farklılığın olduğu, midibüs ve otobüs arasında ise 0 m ve +20 m'de farklılığın olduğu görülmektedir. Bu durum elbetteki taşıt boyutlarından bağımsız tezahür eden bir durum olmakla birlikte bu

sonuçların oluşmasında en önemli etkinin trafik akım koşulları olduğu düşünülmektedir. Görüntü kayıtlarının analizinde minibüs ve otobüs türü taşıtların neredeyse tamamının kampüs içerisinde çalışan ve ilgili otorite tarafından onaylanmış bir toplu taşıma hattı aracı olduğu açıkça anlaşılmıştır. Öte yandan midibüs türü taşıtların ise çoğunlukla belli amaçlarla yolcuları getiren yolcu servisi amacıyla taşımacılık faaliyeti yürüten taşıtlar olduğu hususu dikkat çekmiştir. Bu anlamda konuyu irdelediğimizde trafik akım hızlarının yüksek olmadığı ZA rejimi koşullarında güzergaha hakim olmaları münasebetiyle minibüs ve otobüs türü taşıtların hız azaltımlarında istatistik benzerlikler görülürken midibüs türü taşıtların diğer ikisine göre hızlarını azaltmada farklılıkların olduğu düşünülmektedir.

5. Sonuç

Sürücüler üzerlerinden geçişlerde HKT'lerin vermiş olduğu konforsuzluk sebebiyle hızlarını azaltma ihtiyacı duymaktadırlar. Bu durumdan gelişen endüstri ile birlikte artan sürüş konforunun azaltılması ile güvenliğinin artırıldığı sonucu çıkmaktadır. Bir grup insanın taşıtlardaki konforu arttırmaya çalışmasına karşılık bir başka grubun azaltmaya çalışması teknolojinin bir kısır döngü içerisinde olduğu gerçeğini düşündürmektedir. Günümüzde, taşıtların hızlarını azaltmak amacıyla çok çeşitli teknikler geliştirilmiş olsa da halen en ekonomik ve en verimli yöntemin yol yüzeylerine HKT yapmak olduğu bilinen bir gerçektir [15].

Çalışmada 5, 10 ve 15 cm yüksekliklerdeki HKT'lerin minibüs, midibüs ve otobüs taşıt türleri üzerinde hızı azaltma konusundaki performansları değerlendirilmiştir. Hız azaltma performanslarını belirlemek amacıyla her bir HKT'den geçen taşıtların EH bölgesi, -60 m, -40 m, -20 m, 0 m (üzerinden geçişte), +20 m, +40 m ve +60 m'lerdeki hızları belirlenmiştir. Tüm hız ölçümleri Serbest Akım (SA) ve Doygun Akım (DA) olmak üzere iki farklı trafik akım rejiminde ayrı ayrı yapılmıştır. Hızlar ve EH'ya göre her bir noktadaki YaO değerleri grafikler yardımıyla görselleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler ışığında aşağıda belirtilen tespitler elde edilmiştir.

- HKT1'in geometrisinin değerlendirilen taşıt türlerinde trafik akım rejimi fark etmeksizin hızı azaltma hususunda önemli bir farklılığa sebebiyet vermediği anlaşılmaktadır.
- SA trafik rejiminde minibüs ve otobüs türü taşıtlarda HKT2'den geçişlerde tümsek üzerinden geçişte hızı azaltma konusunda farklılık oluşmaktadır.
- SA trafik rejiminde HKT3'den geçişlerinde minibüs ve otobüs arasında -40 m ile +40 m aralığında hızı azaltma oranlarında farklılık oluşurken, midibüs ve otobüs arasında ise 0 m ile +20 m'de farklılıklar oluşmaktadır.
- ZA trafik rejiminde HKT2 geçişlerinde minibüs ve midibüs arasında tümsek üzerinden +60 m'ye kadar hız azaltmada farklılığın oluştuğu, midibüs ve otobüs arasında bu farklılığın -20 m'den başlayıp +60 m'ye kadar devam ettiği görülmektedir.
- ZA trafik rejiminde HKT3 geçişlerinde ise benzer şekilde minibüs ve midibüs arasında tümsek üzerinden +60 m'ye kadar hız azaltmada farklılığın oluştuğu, midibüs ve otobüs arasında ise 0 m ve + 20m'de farklılığın oluştuğu analiz edilmiştir.

Çalışmanın sonraki aşamalarında değerlendirmelerin aynı koşullarda farklı geometrilere sahip HKT'lerde tekrarlanması toplu taşıma taşıtları üzerinde HKT geometrisinin etkilerini parametrik olarak değerlendirme yapabileme imkanını arttıracaktır. Öte yandan, analizler sırasında taşıtların tanımlanmış bir hat güzergahında çalışan bir taşıt veya personel servisi olarak günün belirli zaman dilimlerinde hizmet veren taşıt olmasına göre ayrı değerlendirilmesi taşıt işletim yaklaşımlarına göre de bir farkın oluşup oluşmadığını belirlemede yardımcı olacaktır.

Çalışma kapsamında uzun saatler boyunca yapılan gözlemler sonucunda HKT'lerin tesis edilmesinden önce mevcut trafik koşullarının sahada yeterince dikkatle izlenmesi tavsiye edilmektedir. Ağır trafik akım koşullarında HKT'lerin yolların kapasitesini önemli miktarda düşürdüğü açıkça gözlenmiştir. Özellikle sinyalizasyon kavşak yaklaşım bölgelerinde HKT'lerin kavşak noktalarına çok yakın tesis edilmesi kavşak başarımını ziyadesiyle olumsuz etkileyeceği açıktır. Şerit kullanımı üzerinde olumsuz etkinin azaltılması amacıyla çok şeritli yol platformlarına uygulanan HKT'lerin, yolun genişliği boyunca kesitinin değişmemesi gerekliliği saha gözlemlerinde açıkça fark edilmektedir. Ayrıca uygulayıcı otoriteler tarafından HKT'lerin yerinde yapılan imalatlar (asfalt, beton vb.) yerine fabrikasyon kompozit ürünler ile üretilmesinin, trafik koşullarından oluşan yıpranmaların önüne geçilmesi adına yararlı olacağı çok açıktır.

Teşekkür

Yazarlar bazı hız verilerinin okunmasında yardımcı oldukları için Ahmet Furkan Çabuk, Hakan Ordu ve Mert Çalış isimli araştırmacılara desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] WHO., **Global Status Report on Road Safety**, 340, Italy: World Health Organization, (2015).
- [2] Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M., ve Lipovac, K., The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed – Belgrade experience, **Safety Science**, 57, 303-312, (2013).
- [3] OECD., **Speed Management**, 286, European Conference of Ministers of Transport, Paris, France, (2006).
- [4] Chadda, H.S., E., C.S., Speed (Road) Bumps: Issues and Opinions, **Journal of Transportation Engineering**, 111, 4, 410-418, (1985).
- [5] Parkhill, M., Sooklall, R., ve Bahar, G., Updated guidelines for the design and application of speed humps, **ITE 2007 Annual Meeting and Exhibit**, Pittsburgh, USA: Institute of Transportation Engineers, (2007).
- [6] Cottrell, W.D., Kim, N., Martin, P.T., Perrin, H.J.Jr., Effectiveness of traffic management in Salt Lake City, **Utah. J Safety Res**, 37, 1, 27-41, (2006).
- [7] Mak, K.K., A further note on undulation as a speed control device, **Transportation Research Record**, 1069, 13-20, (1986).
- [8] Vis, A.A., Dijkstra, A., Slop, M.. Safety effects of 30 km/h zones in the Netherlands, **Accident Analysis & Prevention**, 24, 1, 75-86, (1992).
- [9] Ewing, R., Impacts of traffic calming, **Transportation Quarterly**, 55, 1, 33-46, (2001).

- [10] Evans, D., Traffic calming: The first five years and the oxfordshire experience. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer**, 103, 1, 9-15, (1994).
- [11] Watts, G., **Road humps for the control of vehicle speeds**, Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Laboratory, (1973).
- [12] Agerholm, N., Knudsen, D., Variyeswaran, K., Speed-calming measures and their effect on driving speed – Test of a new technique measuring speeds based on GNSS data, **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, 46, 263-270, (2017).
- [13] HCM., **Highway capacity manual**, Washington, DC: Transportation Research Board, (2000).
- [14] Weber, P.A., Braaksma, J.P., Towards a North American geometric design standard for speed humps, **Institute of Transportation Engineers ITE Journal**, 70, 1, 30-34, (2000).
- [15] Pau, M., Angius, S., Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience, **Accident Analysis and Prevention**, 33, 585-597, (2001).
- [16] Ess, J., Antov, D., Unified methodology for estimating efficiency of traffic calming measures – example of Estonia, **The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**, 11, 4, 259-265, (2016).
- [17] Özel Tüketim Vergisi (II) Sayılı Liste Uygulama Genel Tebliği. 29330. Ankara: Resmi Gazete; 18.04.2015.