



Taşıtların hız kesicilerden geçişi esnasında maruz kaldıkları titreşimin analiz edilmesi

Analysis of vibration exposure of vehicles during passing through speed bumps

Emrah YURTBAŞ¹, Emre KUŞKAPAN^{1*}, Muhammed Yasin ÇODUR²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
emrah.yurtbas08@erzurum.edu.tr, emre.kuskapan@erzurum.edu.tr

²College of Engineering and Technology, American University of the Middle East, Egaila, Kuwait.
muhammed.codur@aum.edu.kw

Geliş Tarihi/Received: 12.07.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 27.12.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 13.12.2021

doi: 10.5505/pajes.2021.82504
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Trafik kazaları çok sayıda can kaybının yanı sıra ciddi maddi kayıplara da sebep olmaktadır. Bu durum toplumları hem maddi hem de manevi olarak olumsuz etkilemektedir. Meydana gelen trafik kazalarının çok büyük bir kısmı aşırı hızdan kaynaklanmaktadır. Özellikle kent içinde çok sayıda insan ve taşıt bulunması sebebiyle aşırı hız kent dışı yollara göre daha ağır sonuçlar doğurabilmektedir. Kent içerisinde hız aşımının azaltılması amacıyla uygulanan yöntemlerden birisi hız kesicilerin kullanılmasıdır. Bu hız kesiciler sayesinde taşıtların yüksek hızlara ulaşmaları engellenebilmektedir. Uygulanması planlanan hız kesiciler belirli standartlara uygun yapılmadığı takdirde hem sürücü hem de yolcu konforunu olumsuz şekilde etkilemektedir. Yapılan bu çalışmada Erzurum ilinde yer alan üçü hazır tip kauçuk tümsek, beşi hız platformu ve ikisi yükseltilmiş yaya geçidi tipinde olmak üzere toplam 10 adet hız kesicinin tasarım standartlarına uygunluğu araştırılmıştır. Hız kesicilerin üç boyutlu gerçek şekillerini belirlemek için ölçüm cihazı ile hassas ölçümler yapılmıştır. Deneyler her hız kesici için iki ve dört kişilerin taşıta olması kaydı ile 15- 20- 25- 30 ve 35 km/sa. hızlarda yapılmıştır. İvme ölçümleri için 70x3 üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. Titreşim ölçümleri sonucunda sadece bir adet hız kesicinin konfor şartlarına uygun olduğu ortaya konmuştur. Mevcut diğer hız kesicilerin tekrar gözden geçirilip tasarım standartlarına uygun olarak inşa edilmesinin hem sürücü hem de yolcu konforu adına daha faydalı olacağı belirtilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hız kesiciler, Sürüş konforu, Trafik güvenliği.

Abstract

Traffic accidents cause serious financial losses as well as many deaths. This situation negatively affects societies both materially and spiritually. The vast majority of traffic accidents are caused by excessive speed. Especially due to the large number of people and vehicles in the city, excessive speed can have more severe consequences than the roads outside the city. One of the methods applied to reduce speeding in the city is the use of speed bumps. Thanks to these speed bumps, vehicles can be prevented from reaching high speeds. If the speed breakers that are planned to be implemented are not made according to certain standards, they negatively affect driver and passenger comfort. In this study, a total of 10 speed breakers, three of which are ready-made rubber bumps, five of which are speed humps and two of which are of the raised pedestrian crossing type, were investigated for compliance with the design standards. Precise measurements were made with the measuring device to determine the real three-dimensional shapes of the speed breakers. The experiments were carried out at speeds of 15- 20- 25- 30 and 35 km/h, provided that two or four people were in the vehicle for each speed breaker. 70x3 triaxial accelerometer was used for acceleration measurements. As a result of the vibration measurements, it has been revealed that only one speed bump is suitable for comfort conditions. It was stated that it would be more beneficial for both driver and passenger comfort if other existing speed bumps were reviewed and built in accordance with design standards.

Keywords: Speed bumps, Driving comfort, Traffic safety.

1 Giriş

Dünya genelinde; nüfus ile birlikte taşıt sayısı da her geçen gün artmaktadır. Artan taşıt sayısı ise trafikte çeşitli problemlere sebep olabilmektedir. Bu problemlerin önüne geçebilmek için politika uygulayıcılar tarafından çeşitli önlemler alınmaktadır. Özellikle de kent merkezlerinde; trafik yoğunluğu fazla olduğu için tedbirler bu yerlerde daha fazla olmaktadır. Alınan tedbirlerden birçoğu taşıtların hızını azaltarak meydana gelebilecek problemlerin önüne geçmeye yöneliktir. Taşıtların hızları azaltılması sayesinde kaza sayıları veya kazaların şiddeti azaltılabilmektedir. Trafik kazaları, ölümlerinin altında yatan en önemli nedenlerden bir tanesidir.

Trafik kazalarındaki ölümlerin yarısından fazlasını korunması yol kullanıcıları (yayalar, bisikletliler ve motosikletliler) içermektedir. Hızları sınırlayıcı önlemler sayesinde meydana gelebilecek kazaların, dolayısıyla da can ve mal kaybının ciddi

ölçüde azaltılabilmesi mümkündür. Trafikte taşıtların hızını azaltmaya yönelik uygulamalardan birisi hız kesici platformlardır. Bu platformlar sürücülerini hızlarını azaltmaya zorlayarak daha ılımlı taşıt hızlarında seyretmelerine yol açıp, kentsel trafik kazalarını engelleyen en etkili trafik sakinleştirme araçları arasındadır [1],[2]. Eğer sürücüler hız kesici platformlarla karşılaştıkları zaman hızlarını yerel otoritelerin belirledikleri hız limitleri ile uyumlu olarak azaltmazlarsa, sürüş güvenliği ve sürücü tarafından algılanan sürüş konfor düzeyi düşecektir. Bu sebeple hız kesici platformlar sürücünün hızlanma düşüncesi üzerinde caydırıcı bir rol oynar [3]-[5]. Hız kesici platformların boyut, kullanıldığı malzeme ve bulunduğu konum itibarıyla farklı türleri mevcuttur. Bunlardan bir tanesi olan yükseltilmiş yaya geçidi; üzerine yaya yolu yapılmış olan ve büyük genişliğe sahip hız kesici platformlardır. Bu platform türü genellikle asfalt veya beton içerikli malzemeden üretilmektedir. Bir diğer tip olan hız

*Yazışılan yazar/Corresponding author

kesici platform türü ise hazır tip kauçuk hız tümsekleridir. Bu türde tümseğin eni yükseltilmiş yaya geçidine göre daha küçüktür. Sadece araç hızını azaltma amaçlı yapılmaktadır. Hazır kauçuk malzemeli profillerin yola monte edilmesiyle uygulanır [6]. Bir diğer hız kesici platform türü ise hız platformlarıdır. Bu tür hız kesiciler yükseltilmiş yaya geçidine boyut ve kullanılan malzeme bakımından benzemekle beraber üzerinde yaya geçidi bulunmamaktadır. Hazır tip kauçuk hız tümseklerine göre ise daha konforlu geçiş sağlamaktadır [7]-[9].

Literatürde hız kesici platformları inceleyen çeşitli çalışmalar mevcuttur. Gedik ve diğ. (2019) değişken araç hızlarında parabolik hız tümsek profillerinin sürüş konforu ve güvenliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, kök ortalamakare değerlerinin değerlendirildiği yerinde ve modelleme testleri gerçekleştirmişlerdir [10]. Loprencipe ve arkadaşları (2019) ise yükseltilmiş yaya geçitlerinin geometrik ve fonksiyonel özelliklerini incelemişlerdir. Buna göre tasarlanan ve uygulanan yükseltilmiş yaya geçitlerinin arasında ciddi farklar olduğunu tespit etmişlerdir [11]. Kırbaş ve Karasahin (2018) hız tümseği ve hız platformlarındaki geçişin araç içi yolcu koltuğu üzerindeki titreşim etkilerini incelemişlerdir. Çalışma ile 20, 30, 40 ve 50 km/s sürüş hızlarındaki konfor eşik değerlerini belirlemişlerdir [12]. Song ve diğ. (2014) taşıtların tümsekler üzerinden geçişi modellenerek, farklı yükseklik ve genişlikteki tümseklerdeki düşey ivmeleri hesaplamışlardır. Bu inceleme sonucunda tümseklerdeki en ideal hız sınırlarını tespit etmişlerdir [13]. Uysal ve Alver (2020) ise yükseltilmiş yaya geçitlerinin lise çağındaki öğrenciler tarafından kabul edilebilir aralık davranışına etkilerini bulmayı amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda yaya geçidinin yükseltilmiş yaya geçidi haline getirilince kullanım oranının arttığı tespit edilmiştir [14]. Çetin ve diğ. (2015) ise farklı olarak yol yapısında oyulma durumunda oluşacak değişiklikleri incelemeyi hedef almışlardır. Bu doğrultuda köprü ayaklarında meydana gelebilecek oyulmanın düşey hız bileşeni ile ilişkisini inceleyip iki değişkeni içeren bir denklem önermişlerdir [15].

Hız kesici platformların iyi tasarlanması ile sürüş güvenliği ve konforu yüksek tutularak taşıt hızları düşürülebilmektedir. Fakat bu platformların yanlış tasarlanabilmesi veya konumlandırılmasının yanlış olması sebebiyle gerekli şartlar sağlanamıyor olabilmektedir [16]. Dünya genelinde birçok ülke yolcu güvenliği ve konforu açısından hız kesici platformlar için çeşitli kriterler belirlemişlerdir. Bu kriterler hız kesici platformların genişliğini, yüksekliğini malzeme cinsini ve rengini belirli sınırlar içerisinde tutmayı amaçlamaktadır. Özellikle platform genişliği ve yüksekliği ergonomik açıdan çok önemlidir [17]-[19].

Gelişmiş ülkelerde, hız tümseklerinin kullanımı, sürücü ve yolcuların kullanımına uygun şekilde tasarlanmış ve standartlaştırılmış kapsamlı araştırma ve testlere bağlı olarak gelişmiştir. Bu sebeple kullanılan tümseklerin uygulanmasında gerekli özen gösterilmektedir. Oluşturulan standartlar diğer ülkeler için de kullanmasını teşvik edici düzeyde olmaktadır [20]. Ancak, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, hız kesici tasarımı ve standardizasyonu üzerine araştırmalar şu anda yetersizdir. Ayrıca, Avrupa ve ABD'de trafiğin sakinleştirilmesi konusunda çok sayıda araştırma yapılmış olmasına rağmen, hız tümseklerinin belirli özelliklerinin etkilerini inceleyen araştırmalar büyük ölçüde eksiktir [21]. Bu durum ise araştırmaya olan ihtiyacı haklı çıkarmaktadır. Saha ve modelleme testlerini birleştiren bütüncül bir yaklaşım, trafiği sakinleştiren cihazların sürüş konforu ve sürüş güvenliği

üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için çok önemlidir. Bu nedenle çalışma, özellikle yerleşim alanlarında parabolik biçimli farklı hız tümseklerinin etkilerini değerlendirmek için bütüncül bir yaklaşım benimsemektedir.

2 Materyal ve yöntem

2.1 Çalışma alanı

Çalışmada, Erzurum ilinin farklı noktalarında bulunan 2 adet yükseltilmiş yaya geçidi, 3 adet hazır tip kauçuk hız tümseği ve 5 adet hız platformu olmak üzere toplam 10 adet hız kesici kullanılmıştır. Seçilen hız kesicilerin 6 tanesi Atatürk ve Erzurum Teknik Üniversiteleri içerisinde, diğer 4 tanesi kentin çeşitli bölgeleri içerisindeki caddelerde bulunmaktadır. Bu hız kesicilerin kentte buldukları konumlar Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Hız kesicilerin konumları.

Figure 1. Locations of speed bumps.

Hız kesicilerin en ve boy ölçülerinin detayları ise Tablo 1'de verilmektedir. Her hız kesicinin uzunluğu yolun genişliğine göre değişmesinden dolayı en olarak bahsedilen değer tümseğin genişliğidir.

Tablo 1. Hız kesicilerin en ve boy ölçüleri.

Table 1. Width and length dimensions of speed bumps.

Hız kesici Numarası	Tipi	En (m)	Yükseklik (cm)
1	Yükseltilmiş yaya geçidi-1	5,17	9,8
2	Yükseltilmiş yaya geçidi-2	4,10	7,4
3	Hız tümseği-1	0,50	6,0
4	Hız tümseği-2	0,60	5,0
5	Hız tümseği-3	0,40	4,0
6	Hız platformu-1	4,00	5,1
7	Hız platformu-2	2,65	5,6
8	Hız platformu-3	1,70	6,3
9	Hız platformu-4	2,70	5,2
10	Hız platformu-5	3,50	5,4

Çalışmada boş ağırlığı 1.198 kg olan C sınıfı Honda Civic 2013 model araç seçilmiştir. Bu taşıtın yüksekliği 1435 santim, uzunluğu 4545 santim ve genişliği ise 1755 santimdir. Deney çalışmasında cinsiyeti erkek olan dört kişi kullanılmıştır. Sürücü koltuğunda oturan 1 No.lu ivmeölçerin takıldığı kişi 98 kg, 2 No.lu ivmeölçerin takıldığı yolcu 82 kg, 3 No.lu ivmeölçerin takıldığı yolcu 81 kg ve 4 No.lu ivmeölçerin takıldığı yolcu ise 83 kg ağırlığındadır.

Kent içerisinde yükseltilmiş yaya geçitleri genellikle yaya trafiğinin yoğun ve yol genişliğinin fazla olduğu yerlerde tercih edilmiştir. Bu geçitler Atatürk Üniversitesinde bulunan Araştırma Hastanesi ve Ziraat Fakültesinin ön kısmındaki yollarda yer almaktadır. Bununla birlikte hazır tip kauçuk hız tümsekleri de hız sınırının düşük olduğu yerlerde hız sınırının

aşılmasını önleme amacıyla kullanılmıştır. Bu hız kesici tümseklerde yine Atatürk ve Erzurum Teknik Üniversitelerinin kampüs alanları içerisinde yer almaktadır. Hız platformları ise kentin çeşitli noktalarında hızı çok düşük seviyelere düşürmek yerine sürücülerin hızını az da olsa azaltma amacıyla uygulanmıştır. Hız platformları genellikle kavşak notları ve okul bölgelerine yakın noktalarda uygulanmıştır.

2.2 Yöntem

Çalışmada her bir hız kesicinin ölçüm cihazı ile koordinatları belirlenmiş ve 3 boyutlu yüzey şekilleri çıkarılmıştır. Hız kesicilerin gerçek yüzey şekilleri Autocad programı yardımıyla çizilmiştir. Fiziksel ölçümler sonucu en kesitleri tespit edilen hız kesicilerin boyutlarının yönetmeliklere uygun olup olmadığı tespit edilmiştir. Yükseltilmiş yaya geçidi-1, yükseltilmiş yaya geçidi-2, hız platformu-1, hız platformu-2, hız platformu-3, hız platformu-4 ve hız platformu-5 No.lu hız kesicilerin her biri Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü (ITE) ve Federal Otoyol İdaresi (FHWA) tasarım standardına göre uygunlukları değerlendirilmiştir. ITE/FHWA kurumları uygun tasarım standartlarının belirlenmesi için Delaware Trafik

Sakinleştirici Tasarım Kılavuzu dokümanından yararlanılmışlardır [28]. Yükseltilmiş yaya geçidi tasarımı için ülkemizde kabul edilmiş bir tasarım standardı bulunmamaktadır. Hız platformu için ülkemizde kabul edilmiş TS 6283 Standardı, ITE/FHWA tarafından kabul edilmiş hız platformu tasarım standardı ile birebir aynı özellikleri taşımakla birlikte, ITE/FHWA tasarım standardı daha detaylı açıklandığı için bu tasarım standardı değerlendirmede kullanılmıştır. Yükseltilmiş yaya geçidi ve hız platformlarının her biri ITE ve FHWA tasarım standardına göre uygunlukları değerlendirilmiştir. Yükseltilmiş yaya geçitleri ve hız platformlarının üzerinde yapılması gereken işaretlemeler için ise Tek Tıp Trafik Kontrol Cihazları Kılavuzu (MUTCD) ve Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) trafik el işaretleri kitabında belirtilen seçeneklere göre bir değerlendirme yapılmıştır. Hız tümsek-1, hız tümsek-2 ve hız tümsek-3 No.lu hız kesicilerin uygunluklarını araştırmak için ise TSE K 16 Standardı kullanılmıştır. Hazır tip kauçuk hız tümsekleri fabrikalarda üretildiği için boyutlarında hata olma ihtimali oldukça düşüktür [22]. Her üç tip hız kesiciye ait genel özellikler ve görüntüleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Hız kesici tipleri özellikleri ve çalışma alanındaki örnek görüntüleri.

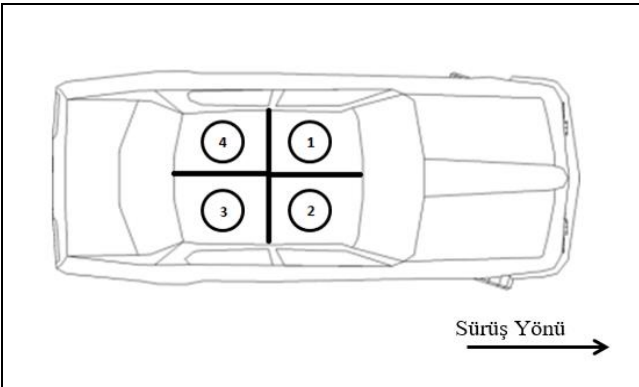
Table 2. Types of speed bumps, features and sample images in the study area.

Hız Kesici Tipi	Teknik Özelliği	Çalışma Alanındaki Görüntüsü
Yükseltilmiş yaya geçidi	Yayalara güvenli geçiş sağlamak amacıyla üzerine yaya yolu işlenmiş beton veya asfalt içerikli hız kesicilerdir. Yaya geçidinin kotu alçaltılmış kaldırım ile aynı olmalıdır. Rampa eğimi ise %5 seviyelerinde olmalıdır.	
Hız platformu	Hız tümseğine göre daha çok hızın yüksek olduğu kesimlerde trafiği sakinleştirmek için beton veya asfalt içerikli hız kesicilerdir. Yüksekliği 7,5 ile 10 cm arasında, boyu ise 3,6 ile 3,8 metre arasında olmalıdır.	
Hız tümseği	Genellikle kauçuk malzemeden hazır olarak üretilmiş enleri dar hız kesicilerdir.	

İvme ölçümlerine başlamadan önce Şekil 2’de gösterildiği gibi laboratuvar ortamında 1 adet Veri Kaydedici, 4 adet 70x3 üç eksenli ivmeölçer ve 1 adet dizüstü bilgisayarın kalibre ayarları yapılmıştır. Cihaz saniyede 200 veri kaydedecek şekilde ayarlanmıştır. İvmeölçerlere 1’den 4’e kadar gösterildiği gibi numaralandırılmış ve Şekil 3’te gösterildiği gibi araca yerleştirilmiştir. 2 No.lu ivmeölçeri kullanacak kişi aynı zamanda dizüstü bilgisayara aktarılan verilerin kaydını tutmuş ve tablolara işlemiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan ivmeölçerler.
Figure 2. Accelerometers used in the study.



Şekil 3. İvmeölçerlerin araç içindeki konumları.

Figure 3. Location of accelerometers inside the vehicle.

İvme ölçümlerinde kullanılan veri kaydedici ve sisteme enerji sağlayan kesintisiz güç kaynakları aracın bagaj kısmına yerleştirilmiştir. Veri kaydedici cihazdan ivmeölçere giden kablolarla veri kaybı olmaması için bagaj kısmına yerleştirilmiştir. Araçtaki sürücü/yolculara iletilen ivmenin akış diyagramı; hız kesiciden araç tekerlerine, tekerlerden amortisörlere, amortisörlerden koltuk altına, koltuk altından koltuk yüzeyine ve koltuk yüzeyinden sürücü/yolculara şeklindedir. Her katmanda titreşimin belli bir miktarı yay sistemleri ve koltuğun üzerindeki esnek malzemeler tarafından sönümlenmektedir. Bu sebeplerden dolayı ivmeölçerler koltuk altı ve taşıt altı gibi yerlere değil, titreşimin sürücü/yolculara son iletiildiği yer olan koltuk yüzeyiyle sürücü/yolcu arasında bir bölgeye yerleştirilmiştir. ISO 2631-1 Standardında da, koltukta oturan sürücü/yolcuların titreşimini ölçmek için kullanılan ivmeölçerlerin titreşim vücuda iletiildiği son nokta (koltuk yüzeyi) ile vücut yüzeyi arasında olması gerektiği

belirtilmiştir. İnsan vücudunda bu yüzeylerin; titreşimin en fazla hissedildiği ayaklarda topuk kısmında, bacakta üst baldır kısmında ve sırtta omuriliğin destek aldığı sırtın orta bölümünden ölçülmesi gerektiği belirtilmiştir [25]. Çalışmada ivme ölçümleri bir noktada x, y ve z yönünde yapılmıştır. Bu sebepten 4 ivmeölçer cihaz ayrı ayrı olmak üzere, her sürücü/yolcunun üst baldır kısmına yerleştirilmiştir.

Taşıt içerisindeki titreşim değerlendirmesinin her birey için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. Çünkü her bireyin kilo, yaş, oturuş şekli vb. durumlardan kaynaklı hissedeceği titreşim değeri aynı olmayacaktır. Bu sebepten her bir koltuk yüzeyi için ayrı ayrı olmak üzere ivme ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar konfor alt sınır değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Sürücü ve yolcuların ISO 2631-1 Standardına göre konfor alt sınır değerleri Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. ISO 2631-1 Standardına göre ivmelerin konfor kategorileri [26].

Table 3. Comfort categories of accelerations according to ISO 2631-1 Standard [26].

a_w (m/s ²)	Konfor Kategorileri
< 0,315	Konforlu
0,315-0,500	Biraz Konforsuz
0,500-0,800	Oldukça Konforsuz
0,800-1,250	Konforsuz
1,250-2,000	Çok Konforsuz
2,000<	Çok fazla Konforsuz

3 Araştırma bulguları ve tartışma

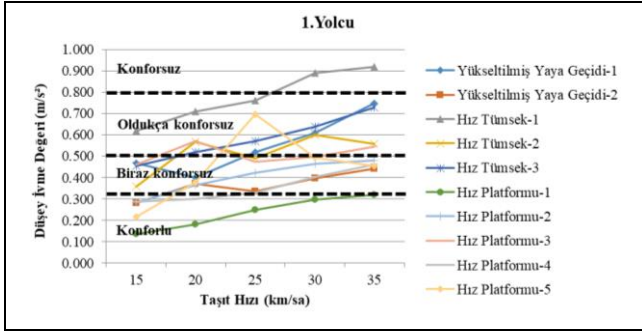
3.1 Hız kesicilerin konfor değerlendirmesi

Konfor durumu belirlenirken koltukta oturan bireyler için en baskın titreşim ekseninin düşey ivme değerleri ile birlikte koltuk sırtından gelen ileri-geri yönde (x yönü) ivmeleri olduğunu belirlemiştir. ISO 2631-1 Standardında koltuk sırtındaki yan ivmelerin ölçülmemesi durumunda burada meydana gelen ivme büyüklüklerinin bir katsayı değeri (1,4) olarak koltuk yüzeyindeki yan ivme değerlerine ilave edilmesini açıklanmıştır [27]. Benzer şekilde Paddan ve Griffin (2002), Song ve diğ. (2014), Bilgin (2018) yaptıkları çalışmalarda en baskın eksen olarak belirttikleri düşey ivme değerlerini dikkate alarak konfor değerlendirmesi yapmışlardır [2],[4],[13].

Çalışmada 3 farklı tipte toplam 10 adet hız kesicide 15, 20, 25, 30 ve 35 km/sa. hızlarda bulunan düşey ivme değerlerine göre bir konfor değerlendirmesi yapılmıştır. Konfor değerlendirilmesinde iki ve dört yolculu testler için ayrı ayrı incelemeler yapılmıştır.

3.1.1 İki yolculu testler için düşey ivme değeri-sürüş konforu değerlendirilmesi

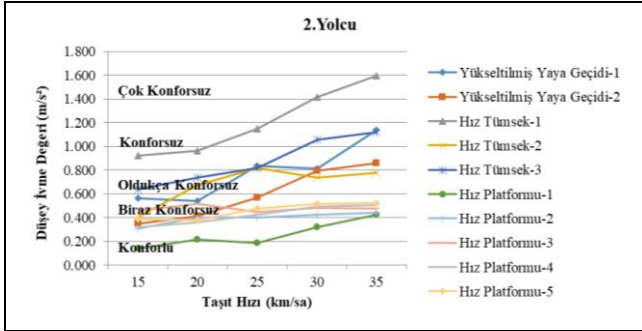
İki yolculu testler sonucu birinci yolcu için oluşan düşey ivme değerlerine göre belirlenen konfor seviyeleri Şekil 4’te gösterilmiştir. Hız tümseği-1’in 30 ve 35 km/sa. hızlarda konfor seviyesi “konforsuz” çıkmıştır. Diğer hız kesicilerin farklı yolcu ve hızlarda konfor seviyesi ise “Biraz konforsuz” ve “Oldukça konforsuz” kategorisinde çıkmıştır. Sonuç olarak 50 adet konfor değerininin 41 adedi yani %82’si konforsuz kategorilerde çıkmıştır.



Şekil 4. İki yolculu testlerde düşey ivme-konfor ilişkisi (1. Yolcu).

Figure 4. Vertical acceleration-comfort relationship in two-passenger tests (1st Passenger).

İki yolculu testlerde ikinci yolcu için oluşan düşey ivme değerlerine göre belirlenen konfor seviyeleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Hız tümseği-1'in 25, 30, 35 km/sa hızlardaki konfor seviyesi "çok konforsuz" çıkmıştır. Hız tümseği-1'in 15 ve 20 km/sa hızlarda; Yükseltilmiş yaya geçidi-1 ve Hız tümseği-3'ün 30 ve 35 km/sa hızlarda; Yükseltilmiş yaya geçidi-2'nin 35 km/sa hızdaki konfor seviyesi ise "konforsuz" çıkmıştır. Diğer hız kesicilerin konfor seviyesi "Biraz konforsuz" ve "Oldukça konforsuz" kategorisinde çıkmıştır. Sonuç olarak iki yolculu testlerde ikinci yolcu için 10 farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 50 adet düşey ivme değerinin 44 adedi yani %88'i konforsuz çıkmıştır.



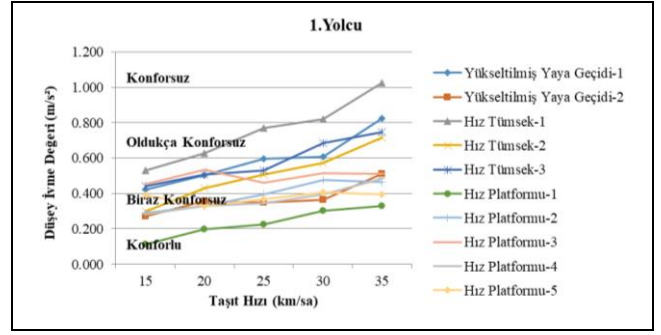
Şekil 5. İki yolculu testlerde düşey ivme-konfor ilişkisi (2. Yolcu).

Figure 5. Vertical acceleration-comfort relationship in two-passenger tests (2nd Passenger).

İki yolculu testlerde düşey ivme değerleri dikkate alınarak yapılan değerlendirmeye göre bir ve ikinci yolcu için 10 farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 100 adet düşey ivme değeri bulunmuş ve 85 adedi konforsuz çıkmıştır. Bu değer 2 yolculu testlerin tamamının %85'ini oluşturmaktadır.

3.1.2 Dört yolculu testler için düşey ivme değeri- sürüş konforu değerlendirilmesi

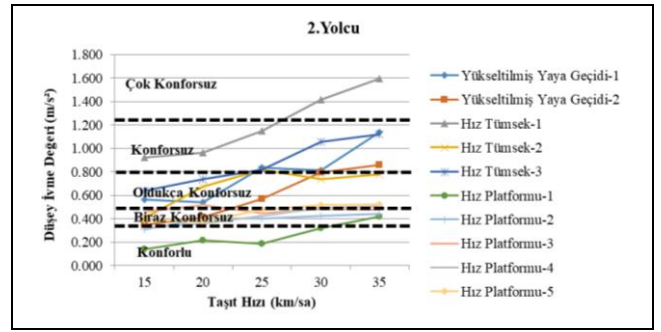
Dört yolculu testlerde birinci yolcu için yapılan değerlendirmeler sonucu belirlenen konfor seviyeleri Şekil 6'da verilmiştir. 30 ve 35 km/sa. hızda Hız tümseği-1 ve 35 km/sa. hızda Yükseltilmiş yaya geçidi-1'in konfor seviyesi "konforsuz" çıkmıştır. Diğer hız kesicilerin konfor seviyesi ise "Biraz konforsuz" ve "Oldukça konforsuz" kategorisinde çıkmıştır. Dört yolculu testlerde birinci yolcu için 10 farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 50 adet düşey ivme değeri 42 adedi konforsuz çıkmıştır. Bu değer dört yolculu testlerden birinci yolcu için yapılan testlerin %84'ünü oluşturmaktadır.



Şekil 6. Dört yolculu testlerde düşey ivme-konfor ilişkisi (1. Yolcu).

Figure 6. Vertical acceleration-comfort relationship in four-passenger tests (1st Passenger).

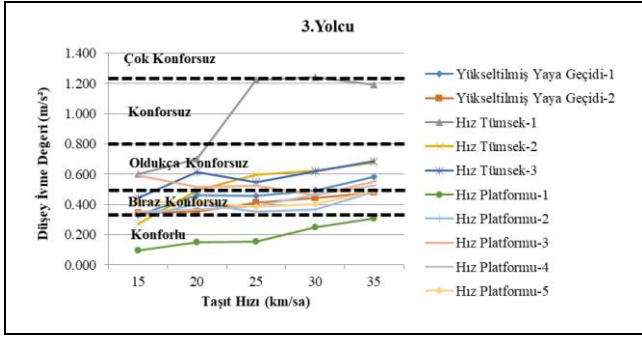
Dört yolculu testlerde ikinci yolcu için yapılan değerlendirmeler sonucu belirlenen konfor seviyeleri Şekil 7'de gösterilmiştir. 15 ve 20 km/sa. hızda Hız tümseği-1'in; 25 km/sa hızda Yükseltilmiş yaya geçidi-1, Hız tümseği-1, Hız tümseği-2 ve Hız tümseği-3'ün; 30 km/sa. hızda Yükseltilmiş yaya geçidi-1 ve Hız tümseği-3'ün; 35 km/sa. hızda Yükseltilmiş yaya geçidi-1, Yükseltilmiş yaya geçidi-2 ve Hız tümseği-3'ün konfor seviyeleri ise "konforsuz" çıkmıştır. Buna ilave olarak 30 ve 35 km/sa. hızda Hız tümseği-1'in konfor seviyesi "çok konforsuz" çıkmıştır. Diğer hız kesicilerin konfor seviyesi "Biraz konforsuz" ve "Oldukça konforsuz" kategorisinde çıkmıştır. Dört yolculu testlerde ikinci yolcu için 10 farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 50 adet düşey ivme değeri bulunmuş ve bunların 46 adedi konforsuz çıkmıştır. Bu değer dört yolculu testlerden ikinci yolcu için yapılan testlerin %92'sini oluşturmaktadır.



Şekil 7. Dört yolculu testlerde düşey ivme-konfor ilişkisi (2. Yolcu).

Figure 7. Vertical acceleration-comfort relationship in four-passenger tests (2nd Passenger).

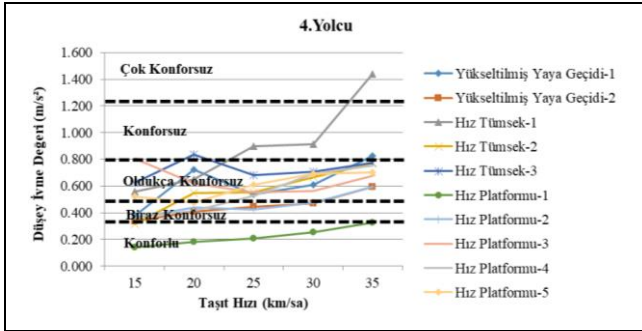
Dört Yolculu testlerde üçüncü yolcu için belirlenen konfor seviyeleri Şekil 8'de gösterilmiştir. 25, 30, 35 km/sa hızlarda Hız tümseği -1'in konfor seviyesi "konforsuz" çıkmıştır. Diğer hız kesicilerin konfor seviyesi "Biraz konforsuz" ve "Oldukça konforsuz" kategorisinde çıkmıştır. Dört yolculu testlerde üçüncü yolcu için 10 farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 50 adet düşey ivme değeri bulunmuş ve bunların 44 adedi konforsuz çıkmıştır. Bu değer Dört yolculu testlerden üçüncü yolcu için yapılan testlerin %88'ini oluşturmaktadır.



Şekil 8. Dört yolculu testlerde düşey ivme-konfor ilişkisi (3. Yolcu).

Figure 8. Vertical acceleration-comfort relationship in four-passenger tests (3rd Passenger).

Dört yolculu testlerde 4. yolcu için yapılan değerlendirmeler sonucu elde edilen konfor seviyeleri Şekil 9'da verilmiştir. 15 km/sa. hızda Hız platformu-3, 25 km/sa. hızda Hız tümseği -1, 30 km/sa. hızda hız tümseği -1 ve 35 km/sa. hızda Yükseltmiş yaya geçidi-1'in konfor seviyeleri "konforsuz" çıkmıştır. 35 km/sa. hızda ise Hız tümseği -1'in konfor seviyesi "çok konforsuz" kategorisinde çıkmıştır. Diğer hız kesicilerin konfor seviyesi ise "Biraz konforsuz" ve "Oldukça konforsuz" kategorisinde çıkmıştır. Dört yolculu testlerde dördüncü yolcu için 10 farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 50 adet düşey ivme değeri bulunmuş ve bunların 46 adedi konforsuz çıkmıştır. Bu değer dört yolculu testlerden dördüncü yolcu için yapılan testlerin %92'sini oluşturmaktadır.



Şekil 9. Dört yolculu testlerde düşey ivme-konfor ilişkisi (4. Yolcu).

Figure 9. Vertical acceleration-comfort relationship in four-passenger tests (4th Passenger).

Dört yolculu testlerde düşey ivme değerleri dikkate alınarak yapılan genel konfor değerlendirmelerine göre yükseltmiş yaya geçitlerinin, hız tümseklerinin ve Hız platformu-1 hariç diğer hız platformlarının çoğunluğu konforsuz seviyede çıkmıştır. Konforsuz çıkan hız kesicilerin seviyesi ise "biraz konforsuz, oldukça konforsuz, konforsuz, çok fazla konforsuz" kategorisinde kalmıştır. "Çok fazla konforsuz" seviyesinde hiçbir hız kesiciye rastlanmamıştır. 4 yolculu testlerde birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü yolcu için 10 farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 200 adet düşey ivme değeri bulunmuş ve bunların 178 adedi konforsuz çıkmıştır. Bu değer Dört yolculu testlerin tamamının %89'unu oluşturmaktadır. İki ve dört yolculu testlerde elde edilen düşey ivme değerleri dikkate alınarak yapılan konfor değerlendirmelerine göre düşey ivme değeri arttıkça konforsuzluk seviyesinin arttığı görülmüştür. İki yolculu testlerde birinci ve ikinci yolcu, dört yolculu testlerde ise birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü yolcu için 10

farklı hız kesici ve 5 farklı hızda toplam 300 adet düşey ivme değeri bulunmuş ve bunların 263 adedi konforsuz çıkmıştır. Bu değer düşey ivme değerleri dikkat alınarak yapılan tüm konfor değerlendirmelerin %87.67'sini oluşturmaktadır. 2 ve 4 yolculu testlerde tüm yolcular için yapılan genel değerlendirmeye göre hız platformu-1'in giriş rampa eğiminin diğer hız platformları arasında en düşük hız platformu olmasından dolayı konfor değerlerinin daha yüksek çıktığı sonucuna varılmıştır. Bu durum bize giriş rampa eğimlerinin konfor değerlendirmesindeki önemini göstermektedir. Yerleşim yerlerinde yapılacak hız kesicilerde giriş rampa eğimlerinin tasarımına önem verilmesi gerekmektedir.

3.1.3 İki yolculu testlerde birinci ve ikinci yolcuların konfor açısından karşılaştırılması

İki yolculu testlerde birinci ve ikinci yolcu için ayrı ayrı yapılan testlerin sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Sonuçlara göre iki yolculu testlerdeki birinci yolcunun maksimum düşey ivme değerleri ikinci yolcuya göre daha düşük çıkmıştır. Yani 1. yolcu hız kesicilerin geçişinde daha konforlu çıkmıştır.

Tablo 4. İki yolculu testlerde 1. yolcu maksimum düşey ivme değerleri (m/s²) değerleri.

Table 4. Maximum vertical acceleration values (m/s²) for the 1st passenger in the two-passenger tests.

Hız Kesici Nu.	15	20	25	30	35
1	0,468	0,400	0,519	0,611	0,748
2	0,282	0,372	0,336	0,396	0,441
3	0,620	0,709	0,761	0,891	0,919
4	0,358	0,568	0,491	0,601	0,557
5	0,456	0,518	0,570	0,640	0,730
6	0,136	0,182	0,248	0,296	0,319
7	0,285	0,364	0,423	0,463	0,480
8	0,461	0,570	0,474	0,497	0,547
9	0,288	0,302	0,328	0,403	0,462
10	0,217	0,378	0,696	0,495	0,456

Tablo 5. İki yolculu testlerde 2. yolcu maksimum düşey ivme değerleri (m/s²) değerleri.

Table 5. Maximum vertical acceleration values (m/s²) for the 2nd passenger in the two-passenger tests.

Hız Kesici Nu.	15	20	25	30	35
1	0,545	0,538	0,627	0,815	1,041
2	0,376	0,456	0,522	0,650	0,825
3	0,911	1,201	1,325	1,468	1,594
4	0,367	0,471	0,666	0,697	0,683
5	0,600	0,753	0,774	0,998	0,930
6	0,137	0,258	0,263	0,307	0,376
7	0,301	0,541	0,469	0,412	0,595
8	0,481	0,493	0,423	0,488	0,562
9	0,314	0,369	0,395	0,438	0,497
10	0,366	0,582	0,536	0,500	0,548

3.1.4 Dört yolculu testlerde birinci ve ikinci yolcuların konfor açısından karşılaştırılması

Dört yolculu testlerde birinci ve ikinci yolcu için ayrı ayrı yapılan testlerin sonuçları Tablo 6 ve Tablo 7’de verilmiştir. Sonuçlara göre dört yolculu testlerdeki birinci yolcunun maksimum düşey ivme değerleri ikinci yolcuya göre daha düşük çıkmıştır. Yani daha konforludur. Sonuç olarak dört yolculu testlerde de ikinci yolcu daha fazla konforsuzluk hissetmiştir.

Tablo 6. Dört yolculu testlerde 1. yolcu maksimum düşey ivme değerleri (m/s^2) değerleri.

Table 6. Maximum vertical acceleration values (m/s^2) for the 1st passenger in the four-passenger tests.

Hız Kesici Nu.	15	20	25	30	35
1	0,420	0,503	0,596	0,610	0,826
2	0,271	0,356	0,349	0,365	0,509
3	0,532	0,626	0,772	0,821	1,025
4	0,300	0,431	0,509	0,574	0,715
5	0,443	0,507	0,530	0,685	0,748
6	0,113	0,197	0,224	0,304	0,330
7	0,292	0,329	0,394	0,477	0,464
8	0,452	0,536	0,459	0,515	0,511
9	0,283	0,328	0,345	0,395	0,484
10	0,391	0,329	0,368	0,408	0,396

Tablo 7. Dört yolculu testlerde 2. yolcu maksimum düşey ivme değerleri (m/s^2) değerleri.

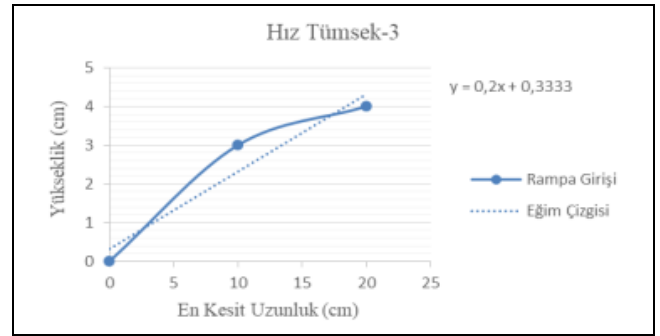
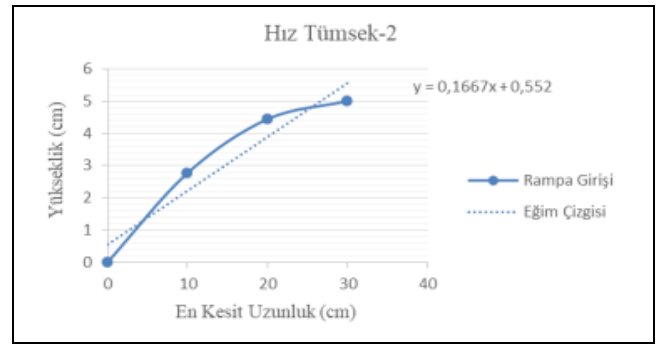
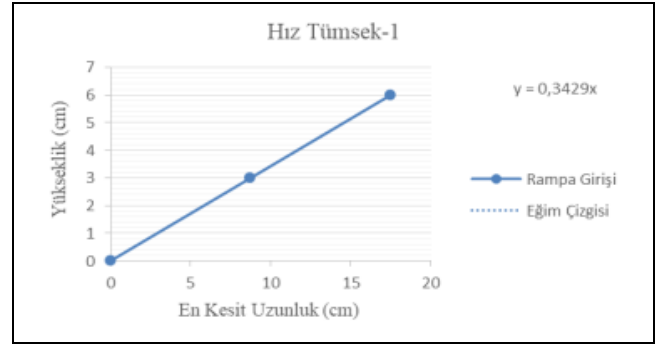
Table 7. Maximum vertical acceleration values (m/s^2) for the 2nd passenger in the four-passenger tests.

Hız Kesici Nu.	15	20	25	30	35
1	0,565	0,542	0,836	0,815	1,140
2	0,350	0,412	0,568	0,794	0,857
3	0,924	0,962	1,151	1,419	1,597
4	0,405	0,676	0,821	0,739	0,777
5	0,639	0,735	0,817	1,059	1,123
6	0,140	0,214	0,188	0,322	0,422
7	0,308	0,399	0,399	0,427	0,442
8	0,460	0,518	0,448	0,482	0,477
9	0,321	0,359	0,425	0,492	0,503
10	0,390	0,377	0,476	0,515	0,523

Her iki durum birlikte değerlendirildiğinde taşıtta 4 veya 2 yolcu olma durumu 1. ve 2. yolcu için düşey ivme değerlerini çok büyük oranda etkilememiştir. Her iki durum için 1. Yolcunun daha düşük düşey ivme değerlerine sahip olması yani daha konforlu yolculuk yapması taşıtın tasarımından kaynaklı olabilmektedir. Çünkü taşıt üreten firmaların birçoğu sürücü koltuğunu daha konforlu olacak ve dış etkilerden daha az etkilenecek şekilde tasarlamaya özen göstermektedirler. 2.yolcunun daha konforsuz hissetmesinde bir başka etmen ise yolculuk esnasında taşınabilir bilgisayarlar veri kayıtlarını yaparken hissettiği konforsuzluk ve gerginlik olabileceği düşünülmektedir.

3.1.5 Hız kesicilerin giriş eğiminin konfor değerlendirmesi üzerindeki etkisi

Türü hız tümseği olan hız kesicilerin en kesit profilleri çıkarılarak Şekil 10’da gösterildiği gibi giriş rampa eğimleri hesaplanmıştır. Hız tümseklerinin giriş rampa eğimleri büyükten küçüğe olacak şekilde hız tümsek-1, hız tümsek-3 ve hız tümsek-2’dir. Hız tümseklerinin titreşim değerlerine bakıldığında hız tümsek-1’in en yüksek değerlere, hız tümsek-2’nin ise en küçük titreşim değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumdan yola çıkarak giriş rampa eğiminin konfor üzerinde etkili olan bir parametre olduğu ve konfor değerlendirmesinde kullanılan titreşim değerleri ile de doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 10. Hız Tümsek 1-2-3’ün giriş rampa eğimleri.

Figure 10. Entry ramp slopes of Speed Bump 1-2-3.

4 Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada Erzurum ilinde kent içerisinde yapılan hız kesicilerin standartlara uygunlukları araştırılmıştır. Deneyde incelenen hız kesicilerin üç boyutlu şekilleri detaylı olarak oluşturulmuştur. Daha sonra taşıt içerisinde farklı bölümlere yerleştirilen ivmeölçerler ile 3 farklı tipte toplam 10 adet hız kesici incelenmiştir. Hız kesiciler için 15, 20, 25, 30 ve 35 km/sa. hızlarda bulunan düşey ivme değerlerine göre bir konfor değerlendirmesi yapılmıştır. Hız kesiciler içerisinde

hem geometrik olarak hem de yüzey şekilleri açısından Hız tümseği-2 hariç diğer hız kesicilerin istenen kriterleri sağlamadığı görülmüştür. Ayrıca elde edilen veriler düşey ivme değerinin arttıkça konforsuzluğun da arttığını göstermiştir. Sonuçta düşey ivme değerlerinin %87.67'sinin konforsuz kategorisinde çıktığı görülmüştür. Bu durum hız kesicilerin hız azalımı noktasında kendilerinden beklenen performansı karşılamadığını ortaya koymuştur. Hız tümseği-2 hariç diğer hız kesicilerin tamamının tekrar gözden geçirilmesi gerektiği görülmüştür. Diğer hız kesicilerin tasarım standartlarına uygun olarak inşa edilmesi ve sürücüler tarafından fark edilmelerini kolaylaştırmak için üzerinde işaretlemeler yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Bunun için tasarım standartlarında belirtilen kriterler dikkate alınarak en uygun değer tasarımının yapılması daha uygun olacaktır.

Yapılan bu çalışma; yerel yönetimlerin hız kesici platform yaparken standartlara uygun tasarımlar yapmasını gerekçesini ortaya koymuştur. Ayrıca gelecekte bu alanda yapılması planlanan çalışmalarda yeterli doğrulukta sonuçlar alınması için taşıt içerisinde sadece bir noktadan ivme değerlerinin alınmasını önerilmiştir.

5 Conclusions

In this study, the compliance of the speed bumps made in the city of Erzurum with the standards was investigated. The three-dimensional shapes of the speed bumps examined in the experiment were created in detail. Then, a comfort evaluation was made according to the vertical acceleration values found at 15, 20, 25, 30 and 35 km/h speeds in a total of 10 speed breakers of 3 different types with accelerometers placed in different parts of the vehicle. It has been observed that, except Speed bump -2, other speed breakers do not meet the desired criteria in terms of both geometric and surface shapes. In addition, the obtained data showed that as the vertical acceleration value increases, the discomfort also increases. As a result, it was seen that 87.67% of the vertical acceleration values were in the uncomfortable category. This situation revealed that the speed bumps did not meet the expected performance in terms of speed reduction. It has been determined that all speed bumps except the Speed bump -2 should be reviewed and built in accordance with the design standards and the necessary markings should be made on them to make them easier to be noticed by the drivers. For this, it would be more appropriate to make the most optimum design by considering the criteria specified in the design standards.

This study has revealed the reason why local governments make designs in accordance with their standards while making slow-moving platforms. In addition, he suggested that acceleration values should not be taken from only one point in the vehicle in order to obtain results with sufficient accuracy in the studies planned to be carried out in this area in the future.

6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Emrah YURTBAŞ deneysel sürecin gerçekleştirilmesi, verilerin kayıt altına alınması ve analizinin yapılması kısımlarında; Emre KUŞKAN literatür taraması, yazım denetimi ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi kısımlarında; Muhammed Yasin ÇODUR kullanılan malzemelerin temin edilmesi, sonuçların incelenmesi ve makalenin kontrol edilmesi kısımlarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

8 Kaynaklar

- [1] Aladdin MF, Jalil NAA, Guanl NY, Rezali KAM, Adam, SA. "Evaluation of human discomfort from combined noise and whole-body vibration in passenger vehicle". *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 16(2), 6808-6824, 2019.
- [2] Bilgin E. Kent İçi Yollarda Hız Kesici Platform ve Tümsek Profillerinin Sürüş Konforu Üzerindeki Etkilerinin Arazi Testleri, Nümerik ve Analitik Modeller Vasıtasıyla Belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [3] Hossainy MM. Hız Tümseklerinin Araç ve Sürücüler/Yolcular Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2019.
- [4] Paddan GS, Arrowsmith CI, Rimell AN, King SK, Mansfield NJ, Holmes SR. "The influence of seat backrest angle on perceived discomfort during exposure to vertical whole-body vibration". *Ergonomics*, 55(8), 923-936, 2012.
- [5] Ponnaluri RV, Groce PW. "Operational effectiveness of speed humps in traffic calming". *Institute of Transportation Engineers Journal*, 75(7), 26-30, 2005.
- [6] Kumar V, Saran H, Gurugunla V. "Study of vibration dose value and discomfort due to whole body vibration exposure for a two wheeler drive". *Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms*, Roorkee, Uttarakhand, India, 18-20 December 2013.
- [7] Zainuddin NI, Adnan MA, Diah JM, Sulaiman N. "The optimization of speed hump design: A case study in Malaysia residential streets". *IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering*, Kota Kinabalu, Malaysia, 3-4 December 2012.
- [8] Kordani AA, Molan AM, Monajjem S, Sadeghvaziri E. "Simulation modeling of dynamic response of vehicles to different types of speed control humps". *Second Transportation & Development Congress*, Orlando Florida, United States, 8-11 June 2014.
- [9] Jasiūnienė V, Pociūtė G, Vaitkus A, Ratkevičiūtė K, Pakalnis. "Accident analysis and evaluation of trapezoidal speed humps and their impact on the driver". *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 13(2), 104-109, 2018.
- [10] Gedik A, Bilgin E, Lav AH, Artan R. "An Investigation into the effect of parabolic speed hump profiles on ride comfort and driving safety under variable vehicle speeds: a campus experience". *Sustainable Cities and Society*, 45, 413-421, 2019.
- [11] Loprencipe G, Moretti L, Pantuso A, Banfi E. "Raised Pedestrian Crossings: Analysis of Their Characteristics on a Road Network and Geometric Sizing Proposal". *Applied Sciences*, 9(14), 1-23, 2019.
- [12] Kırbaş U, Kardeş M. "Comparison of speed control bumps and humps according to whole-body vibration exposure". *Journal of Transportation Engineering*, 144(9), 1-9, 2018.

- [13] Song L, Feng G, Guoyan X, Nenggen D. "The best speed limit range for road hump". *Applied Mechanics and Materials*, 490, 891-896, 2014.
- [14] Uysal M, Alver Y. "Yükseltilmiş yaya geçidinin lise çağındaki yayaların kabul edilebilir aralık seçimine etkisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 342-348, 2020.
- [15] Çetin OK, Saçan C, Bombar G. "Investigation of the relation between bridge pier scour depth and vertical velocity component". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(6), 427-432, (2016).
- [16] Ilgaz A, Saltan M. "Determination of the effects of speed bumps on driver speeds via mobile cameras and a survey application". *Cumhuriyet Science Journal*, 38(4), 822-833, 2017.
- [17] Zhao X, Schindler C. "Evaluation of whole-body vibration exposure experienced by operators of a compact wheel loader according to ISO 2631-1:1997 and ISO 2631-5:2004". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(6), 840-850, 2014.
- [18] Khorshid E, Alkalby F, Kamal H. "Measurement of whole-body vibration exposure from speed control humps". *Journal of Sound and Vibration*, 304, 640-659, 2007.
- [19] Nahvi H, Nor M, Fouladi MH. "Evaluation of whole-body vibration and ride comfort in a passenger car". *International Journal of Acoustics and Vibrations*, 14(3), 143-149, 2009.
- [20] Satiennam W, Satiennam T, Urapa P, Phacharoen T. "Effects of speed bumps and humps on motorcycle speed profiles". *In Advanced Materials Research*, 931, 536-540, 2014.
- [21] Cottrell WD, Kim N, Martin PT, Perrin H J. "Effectiveness of traffic management in Salt Lake City, Utah". *Journal of Safety Research*, 37(1), 27-41, 2006.
- [22] TRCtrafik. "Kauçuk Hız Kesici". <http://trctrafik.com.tr/urun/pl-01-300-50x60cm-kaucuk-kasis-kaucuk-hiz-kesici-500-x-600-x-45-mm/> (12.06.2021).
- [23] KGM trafik işaretleri el kitabı. "Yükseltilmiş yaya geçidi standartları". <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/IsaretlerElKitabi/TrafikIsaretleriElKitabi2015.pdf> (13.06.2021).
- [24] Manual on Uniform Traffic Control Devices. "National Standards for Traffic Control Devices". <https://mutcd.fhwa.dot.gov/> (13.06.2021).
- [25] ISO 2631-1. "Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration". <https://www.iso.org/standard/7612.html> (01.07.2021).
- [26] TS ISO 2631-1. "Mekanik titreşim ve şok". <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?> (01.07.2021).
- [27] Marjanen Y. Validation and Improvement of the ISO 2631-1 (1997) Standard Method for Evaluating Discomfort from Whole-Body Vibration in a Multi-Axis Environment. PhD Thesis, Loughborough University, Leicestershire, United Kingdom, 2010.