

Yatay Kurp Tahkiklerinde Ball-bank Tekniğinin Kullanımı

Banihan GÜNAY*
Yusuf FİŞEKÇİOĞLU**

ÖZ

Bu makalede, yatay kurp tahkiklerinde kullanılan ama ülkemizde pek bilinmeyen ball-bank cihazı tanıtılmış ve örnek olarak seçilen beş kurp üzerinde özel bir uygulaması gösterilmiştir. Tekniğin bir dezavantajı olarak bilinen konumlama problemine de (GPS bağlantısına ve senkronizasyonuna gerek duymayan) bir çözüm önerisi getirilmiştir. Makalenin deneysel kısmının öncelikli amacı tekniğin özel durumlarda uygulanışını göstermekten ibaret olup, seçilen bu kurplar için geometrik tasarım parametrelerini tayin etmek değildir. Saha bulguları göstermiştir ki yarıçapı bilinmeyen bir kurpta bu teknik ile yarıçap tahmin edilebilmekte, ya da eğer kurp geometrisi biliniyorsa, verilen bir konfor sınırı için, olması gereken dever miktarı veya kurp içi (proje hızından farklı) hız sınırı belirlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enine ivme, dever, merkezkaç.

ABSTRACT

An Application of the Ball-bank Technique for the Evaluation of Horizontal Curves

In this paper, the ball-bank device, little-known in Turkey, has been introduced and a special application has been demonstrated on five horizontal curves. A solution has been proposed for the technique's only known disadvantage of positioning, without worrying about the GPS connection and synchronization difficulties. The primary goal of the paper is only to show the application of the technique from various aspects and not to establish geometric parameters for these curves. Field observations have shown that by means of this method it is possible to estimate the curve radius, or when the curve geometry is known, for a given comfort limit, the super elevation rate as well as the advised curve speeds (being different from the design speeds).

Keywords: Lateral acceleration, superelevation, centrifuge.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 10.07.2014 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2015 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - banihangunay@akdeniz.edu.tr

** Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya - y.fisekci@mynet.com

1. GİRİŞ

Karayollarında meydana gelen trafik kazalarının sebeplerini genelde insan, yol ve araç hataları olarak üç başlık altında toplamak mümkündür. Ülkemizde yol kusurlarına değişik nedenlerden ötürü yeterince sorumluluk payı yüklenmemektedir ve bu tür kusurlar aslında resmi kayıtlara geçen oranlardan çok daha fazla bir paya sahiptir [1]. Konunun ciddiyeti bu makalenin anafikrinin oluşmasında da önemli rol oynamıştır. Çünkü dünya genelinde karayollarında meydana gelen ölümlü kazaların önemli bir kısmının yatay/düşey kurplarda meydana geldiği ve birçoğunun da savrulma ve/veya devrilmeden kaynaklandığı bilinmektedir. Örneğin Lee [2], bir yolun benzer eğime sahip başka bir bölümüne göre yatay kurplarda ölümlü kazaların üç kat daha fazla olduğunu ve kırsal bölgelerde ise ölümlerin yaklaşık üçte ikisinin bu kurplarda gerçekleştiğini belirtmiştir. Tasarım veya imalattan kaynaklanabilecek hatalar çoğunlukla deverin yanlış verilmesi, kurp içi proje hızının yanlış seçilmesi, kurp yarıçapının veya uzunluğunun yanlış olması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Hatta, Günay'a [3] göre ülkemizde okutulan ders kitaplarındaki bazı kurp tasarım formülleri bile yanlışlıklar içerebilmektedir. Bu eleştiriler akademisyenlerce yeterince tartışılıp hatalar giderildikten sonra bu temel formüllerin standartlara yansması gerekmektedir.

Tasarım ve imalat kusurlarının tespiti ve giderilmesi ülkemizde genelde acı bir problem yaşandıktan sonraya kalmakta ve ölümlü/yaralanmalı kazalar meydana gelip, kusurların nizamı mahkemelik olduktan sonra mevcut yolun projeye uygunluğu yetkililer tarafından ancak incelemeye alınmaktadır. Ayrıca bu türden kontrol veya bilirkişi ölçümleri arazi teknik elemanları (inşaat/harita mühendisleri/teknikerleri vb.) tarafından yapılmakta olup, kalabalık bir ekip ve alet gerektirmekte ve çoğu kez de ölçüm boyunca yolun veya şeridin bir süreliğine trafiğe kapatılmasını zorunlu kılmaktadır. Veya en azından, bu ölçümleri yapabilmek için akmakta olan trafiğin yakınında yani yol kenarında bulunmak gerekmekte, zaten görüş mesafesinin sınırlı olduğu yatay kurp kesimlerinde ilave risklere maruz kalılabilmektedir. Özellikle yoğun trafiğe sahip yollarda böyle riskli bir tetkik ortamı mecbur kalmadıkça tercih edilmemelidir. Ayrıca zaman kaybı da söz konusudur. Ancak bütün bu dezavantajlı uygulamalara alternatif olabilecek, aşağıdaki bölümlerde de anlatılacağı üzere, Amerika ve Avustralya gibi ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılan [4], çok da pahalı olmayan ball-bank cihazı ile, araçtan inmeden ve yolu trafiğe kapamadan veya trafiği riske sokmadan bir takım kurp ölçümleri yapmak mümkündür.

2. BALL-BANK CİHAZI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

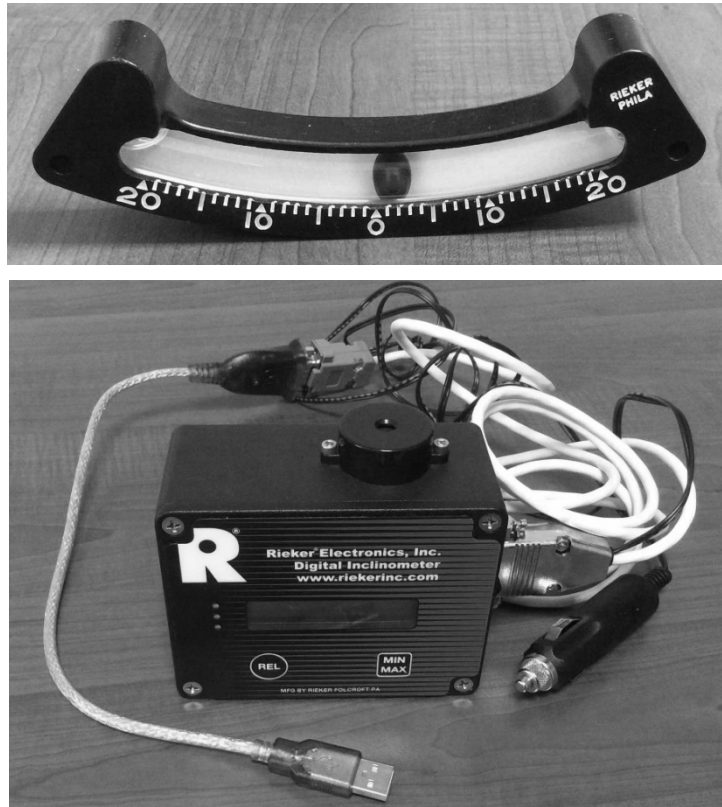
2.1. Tanımlamalar

İngilizcesi ball-bank, slopemetre ya da inclinometre olarak bilinen bu cihazın dilimizde henüz yerleşmiş bir adı yoktur. Devermetre kelimesi önerilebilir, ancak böyle bir tartışma bu makalenin konusu olmadığından, şimdilik ball-bank terimini kullanmaya devam edeceğiz.

Ball-bank cihazı bir test aracına (otomobile) montedildikten sonra, önceden belirlenen yatay kurplara bu test aracı ile belirli hızlarla girilir ve ball-bank cihazındaki açı değerlerinin okuması yapılır. Deney bir kaç defa tekrarlanır ve bu okumaların ortalaması alınır. Elde edilen ortalama değer, kurp proje hızına karşılık gelen açı değeriyle karşılaştırılır.

Mekanik ve elektronik olmak üzere cihazın iki farklı tipi mevcuttur (Şekil 1). Mekanik ball-bank cihazı, içi özel bir sıvı ile dolu, kavisli ve açı değerleriyle kalibre edilmiş bir cam tüp içinde serbestçe hareket eden bir topun oluşturduğu bir düzenektir. Araç kurpta hareket ederken cihazdaki top dışa doğru tüp içerisinde kayar. Topun bu hareketi açı dereceleri cinsinden yoldaki dever oranını, yanal ivmelenmeyi ve araç gövdesinin salınımını içerir. Ölçüm sırasında bir kişi aracı kullanır, diğer kişi de ölçümden elde edilen verileri not eder.

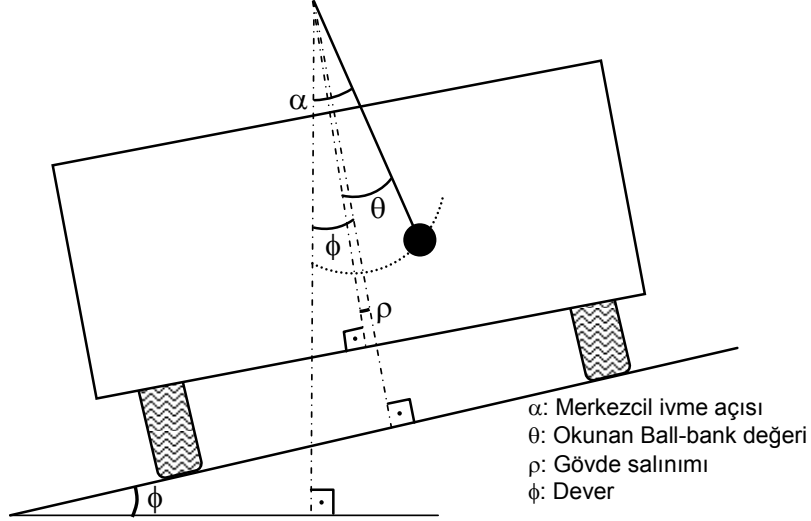
Elektronik olanları ise, üzerinde dijital bir ekranı bulunan ve araç içerisinde çakmak prizine takılarak elektrik beslemesi yapılan ve ayrıca RS232 çıkışı ile bir dizüstü bilgisayarın USB portuna bağlanabilen bir cihazdır. Mekanik olanların yerini artık elektronik ball-bank cihazları almış bulunmaktadır (bu çalışmada da elektronik ball-bank cihazı kullanılmıştır). Cihaz araç içerisinde düz bir yüzeye mont edilir. Mekanik olanlarındaki gibi gözle okuma yapmaya ve not tutmaya gerek olmadığından, normal şartlarda sürücüdenden başka ikinci bir kişiye ihtiyaç duyulmaz, ancak rahat ve güvenli bir deney için diğer bir kişi cihazın açılması, sıfırlanması, kontrolü gibi görevler üstlenebilir.



Şekil 1. Mekanik ve elektronik ball-bank cihazları

Yatay Karp Tahkiklerinde Ball-bank Tekniğinin Kullanımı

Her iki mekanizma da Şekil 2’de görüldüğü gibi basit sarkaç anafikrine dayanmaktadır. Cihazın sıfırdan farklı bir değer göstermesi için ya yatay bir vaziyette olmaması, ya dairesel bir harekete maruz kalmış olması, ya da bu her iki durumun beraber olması gereklidir.



Şekil 2. Ball-bank sarkacına ait kritik açılar

Buradaki merkezkaç kuvvetinin büyüklüğü mv^2/R olup, m kütle, v aracın hızı, R ise karp yarıçapıdır. Sarkaç topuna etki eden kuvvetlerin sarkaç ipine dik doğrultudaki denge denklemi

$$mg \sin \alpha = \frac{mv^2}{R} \cos \alpha \quad (1)$$

veya

$$\tan \alpha = \frac{v^2}{gR} \quad (2)$$

şeklinde yazılır. $\alpha = \theta + \phi - \rho$ olduğu için, aynı denklem

$$\tan(\theta + \phi - \rho) = \frac{v^2}{gR} \quad (3)$$

haline de dönüşebilir. Her aracın amortisör sistemi farklı olduğu için gövde salınımları da (ρ) farklı olmaktadır. Ancak Carlson ve Mason [4] ve Echaveguren [5] gibi araştırmacılar bu değerini ball-bank okumalarında 1° 'yi aşmadığını ve ihmal edilebileceğini söylemektedirler. Bu sebepten dolayı kamyonet ya da cip türü araçlardan ziyade tipik bir yolcu arabasının kullanılması tercih edilmelidir. Gerek mekanik gerek elektronik her iki yöntemde de teste başlamadan önce araç lastiklerinin eşit hava basıncına sahip olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu kalibrasyon işlemi düz bir satıhta gerçekleştirilmeli gerekirse uygun bir su terazisi kullanılarak yüzeyin eğimsiz olduğundan emin olunmalıdır. Ayrıca ölçüm sırasında test aracı şeridin ortasından düzgün bir şekilde sürülmelidir.

Her iki yöntemin de en zor kısmı hareket halindeki bir aracın içindeki ball-bank cihazının belli aralıklarla verdiği açı değerlerine karşılık gelen aracın (yoldaki) o anki konumunu eşleştirme zorluğudur. Bunun için literatürde pusula ve GPS yöntemleri gibi iki teknik önerilmiştir. Pusula yöntemi kaba sonuçlar vermekte, GPS yönteminde ise alt geçit ve tünel içi kurplarda uydu ile bağlantı kesikliği yaşanması gibi dezavantajlar doğabilmektedir. Bu makalede ise, Bölüm 3'te detaylı anlatılacağı üzere, GPS ve pusula gerektirmeyen, kamera destekli alternatif bir yöntem geliştirilmiştir.

2.2. Ball-bank Eşik Değerlerinin Tarihsel Gelişimi

Yatay kurplardaki güvenli hızın tespiti için yapılan çalışmalar 1930'lu yıllara kadar dayanmakta olup, o yıllarda konfor sınırında yanal sürtünme katsayısının 20 ile 60 mil/sa (~33-96 km/sa) hızları için 0,07 ile 0,20 arasında değiştiği belirtilmiştir [6]. 1937 yılında Amerika'da Missouri Bölgesi ball-bank cihazını ilk kullanmaya başladı ve 10° 'lik ball-bank okumasının araç gövdesinin salınımlarına bağlı olarak yanal sürtünme katsayısının 0,14 ile 0,15 arasındaki bir değere tekabül ettiğini bildirdi [7]. 1983 yılında, FHWA tarafından yayınlanan Trafik Kontrol Cihazları El Kitabında, 35-60 mil/sa (~56-96 km/sa) hızlar için 10° , 20-30 mil/sa (~32-48 km/sa) hızlar için 12° , ve 20 mil/sa (~32 km/sa) altı hızlar için ise 14° değerleri önerildi [8]. 1995 yılına gelindiğinde ise Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan şehirlerin %90'unda ball-bank cihazı kullanılır hale geldi [2]. Chowdhury vd. [9] 30 mil/sa (~48 km/sa) altı hızlar için 20° , 30 ila 40 mil/sa (~48-64 km/sa) hızlar için 16° , ve 40 mil/sa (~64 km/sa) üzeri hızlar için ise 12° değerlerini öngörmüştür. Carlson ve Mason [4] ball-bank okuma değerleri, yanal ivmelenme oranları ve araç gövdesinin salınımları arasındaki ilişkileri çalışmış ve sonuç olarak şu değerleri önermişlerdir: 30 mil/sa (~48 km/sa) altı hızlar için 16° , 30-50 mil/sa (~48-80 km/sa) arası hızlar için 12° , ve 50 mil/sa (~80 km/sa) üzeri hızlar için ise 9° .

Bu konuda American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ile de uyum gösteren MUTCD [6] ise, 20 mil/sa (~32 km/sa) ve daha düşük hızlar için 16° , 25-30 (~40-48 km/sa) mil/sa hızlar için 14° , ve 35 mil/sa (~56 km/sa) ve daha yüksek hızlar için 12° 'lik ball-bank okumaları öngörmektedir. 2001 yılında Trafik Kontrol Cihazları El Kitabı [10] ball-bank okuma kriterlerine, hızın 35 ila 60 mil/sa (~56-96 km/sa) arasında olması durumunda 10° , 20 ila 30 mil/sa (~32-48 km/sa) arasında olması durumunda 12° , ve 20 mil/sa'ten (~32 km/sa) az olması durumunda ise 14° olacak şekilde en son halini vermiştir. Bu standartlar *Tablo 1*'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Farklı çalışmalarda tavsiye edilen değişik Ball-bank değerleri ve bu değerlere karşılık gelen hızlar

Ball-bank (derece)	Tekabül eden hızlar	Çalışmanın kaynağı ve yıl
9°	~80 km/sa ve üstü	Carlson ve Mason, 1999 [4]
10°	~56-96 km/sa ~56-96 km/sa	Traffic Control Devices Handbook, 1983 [8] Traffic Control Devices Handbook, 2011 [10]
12°	~48-80 km/sa ~56 km/sa ve üstü ~32-48 km/sa ~32-48 km/sa ~64 km/sa ve üstü	Carlson ve Mason, 1999 [4] MUTCD, 2009 [6] Traffic Control Devices Handbook, 1983 [8] Traffic Control Devices Handbook, 2011 [10] Chowdhury vd., 1998 [9]
14°	~40-48 km/sa ~32 km/sa ve altı	MUTCD, 2009 [6] Traffic Control Devices Handbook, 2011 [10]
16°	~48 km/sa ve altı ~32 km/sa ve altı ~48-64 km/sa	Carlson ve Mason, 1999 [4] MUTCD, 2009 [6] Chowdhury vd., 1998 [9]
20°	~48 km/sa ve altı	Chowdhury vd., 1998 [9]

2.3. Ball-bank Tekniğinin Başlıca Kullanım Alanı

Teknik, kurp içinde uyulması gereken hız sınırının (teorik değil de pratik olarak) sürüş konforunu da içine alacak şekilde belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bilindiği üzere, örneğin topografik şartlar gibi bir takım nedenlerle bazı kurplarda proje hızı uygulanamaz. Kurp boyunca seyredilmesi gereken hız her ne kadar tasarım aşamasında hesaplanabilse de, yine bu cihaz kullanılarak, imal edilmiş yol üzerinde doğrudan ölçüm yapılabilmekte ve gerekirse kurp bölgesi hız limiti modifiye edilebilmektedir. Gattis vd.'ne [11] göre yatay kurpların tasarımında kullanılan sürtünme katsayısı aslında tekerleğin yol üzerinde kaymasının eşik değerine değil, sürücünün konforsuzluk eşik değerine dayanmaktadır. Çünkü yol ile birlikte yol çevresi de sürücünün seçeceği hızı belirlemektedir. Örneğin kötü yol ve lastik özelliklerine sahip bir duruma kıyasla, aynı yarıçapa sahip fakat pürüzlülüğü mükemmel bir yol yüzeyi üzerinde son derece yeni ve kaliteli tekerleklerle sahip bir aracı kullanan sürücü, (her ne kadar matematiksel bağıntı öyle gerektirse de) aracını çok daha yüksek hızlarda sürer iddiası yanlış olur. Bu arada sürtünme katsayısının kendisinin de hızın bir fonksiyonu olduğu unutulmamalıdır.

Bir yatay kurptaki sürüş konforu ve emniyeti sadece o kurba ait geometriye bağlı olmayıp, kendinden önceki kurp geometrilerinin sürücüler üzerinde oluşturduğu his ve beklentiye de bağlı olabilmektedir. Ayrıca yoldaki hız tahdit levhalarında yazan değerler, olması gerekenden düşük veya fazla olabilmektedir. Levhada yazan hız limiti ile kurp geometrisinin verdiği hissın uyuşmaması ve en kötüsü de bu uyuşmazlığın bazı kurplarda az, bazısında çok olması sürücüler üzerinde hız tahditlerine karşı saygı eksikliği,

güvensizlik ve itaatsizlik gibi durumlara yol açabilmektedir. Özellikle de yola yabancı olan sürücüler için böyle durumlar kaza riski taşımaktadır. Carlson ve Mason [4], imal edilmiş yola ait kurpların etrafındaki çevre ile birlikte verdiği ‘güvenli sürüş hızı’ hissini hesaba katılması istendiğinde de ball-bank cihazından yararlanılabileceğini söylemektedir.

3. ÖRNEK UYGULAMA

3.1. Seçilen Kurplar

Cihazın kullanımını özel bir kaç örnek üzerinde göstermek için Antalya’da bulunan ve konforsuz sürüş hissi verdiği halk arasında dile getirilen yatay kurplar 2012 yılı içerisinde çalışılmıştır. Bunlar, Burhanettin Onat kavşağı[†] alt geçidindeki Batıdan gelip Güneye dönen akım ve İller Bankası katlı kavşağı[‡] üzerindeki yonca yapraklarıdır. Eldeki kaza kayıtları da incelendiğinde [12] özellikle Burhanettin Onat kavşağındaki kurpta çok sayıda ‘devrilme’ ve ‘savrulma’ tipi kazaların olduğu görülmektedir. Bu kurp, sürücülerin yakındığı, yokuş aşağı ilerleme yönünde keskin bir viraja sahip, dever hatası gözle bile görülebilen kazaların sıkça olduğu bir kurptur. Aynı kaynağa göre, İller Bankası kavşağı da ölümcül ve yaralanmalı kaza sayılarında ikinci sırada gelmektedir.

3.2. Kurulan Test Düzenegi

Ölçümlerde kullanılan Honda Civic Sedan 2011 Model aracın lastik basınçları üretici firmanın tavsiye ettiği değerlere göre her ölçüm öncesi kontrol edilerek aracın solu ve sağ dengelenmiştir. Daha sonra düz bir yere araç park edilip, su terazisi yardımıyla, ball-bank cihazı sıfırlanmıştır. Ölçümlerde bir adet elektronik ball-bank cihazı, bir adet dizüstü bilgisayar, iki adet video kamera, ve bir adet ses CD’si kullanılmıştır. Ölçümler için, literatürde de tavsiye edildiği üzere [13], serbest akım zamanı olan sabahın erken saatleri seçilmiştir. Ball-bank cihazı aracın 12 Volt çakmak prizine takılmış (*Şekil 3*) ve dizüstü bilgisayara bağlanmıştır. Bilgisayarda bulunan Hyper Terminal yazılımı kullanılarak okunan değerlerinin ölçüm esnasında bilgisayara kaydedilmesi sağlanmıştır.

Seçilen kurpların hepsinde de boyuna eğim olduğu için aracın hızını sabit tutma zorluğu ile karşılaşmış ve literatürde bu konu ile ilgili yeterli bilgiye rastlanmamıştır. Aracın hız sabitleme sistemi (cruise control) de yokuş aşağı veya yokuş yukarı kesimlerde araç hızını tam istenildiği şekilde sabit tutamamaktadır. Kabiliyetli bir sürücü sık sık aracın hız göstergesine bakarak bir ayarlama yapabilir ancak böyle zor bir ölçüm metodu önerilip genellenemez. Dolayısıyla yeni bir teknik ihtiyacı doğmuş ve şöyle bir yaklaşım geliştirilmiştir. Ölçümler esnasında, bir adet video kamera hem aracın hız göstergesindeki değeri hem de (aynı kamera) aracın ön camından dışarıdaki görüntüyü kaydetmiştir (*Şekil 4*). Böylelikle yolun hangi kesiminde hangi hızda gidildiği bilgisi elde edilmiştir. Diğer bir taraftan da (aynı anda) dizüstü bilgisayardaki ball-bank verileri ikinci bir kamera ile filme alınmıştır (*Şekil 5*). Bu iki farklı kameradan gelen hız ve ball-bank değerlerinin senkronizasyonunu sağlayabilmek için önceden hazırlanan ve 1-2-3-4-5... şeklinde sayıların insan sesiyle okunarak kaydedildiği ses CD’si ölçüm sırasında aracın müzik

[†] Google veya Yandex koordinatları: 36.888782, 30.720622

[‡] Google veya Yandex koordinatları: 36.901301, 30.665289

Yatay Kurp Tahkiklerinde Ball-bank Tekniğinin Kullanımı

sisteminde çalınmıştır. Bu sayede her iki video kamerasının kaydetmiş olduğu görüntüleri (ofiste) eşleştirme imkânı bulunmuştur. Ofisteki analizler sırasında her iki videoda da duyulan aynı sesi için videolar durdurulup hız ile ball-bank değerleri eşleştirilmiştir.



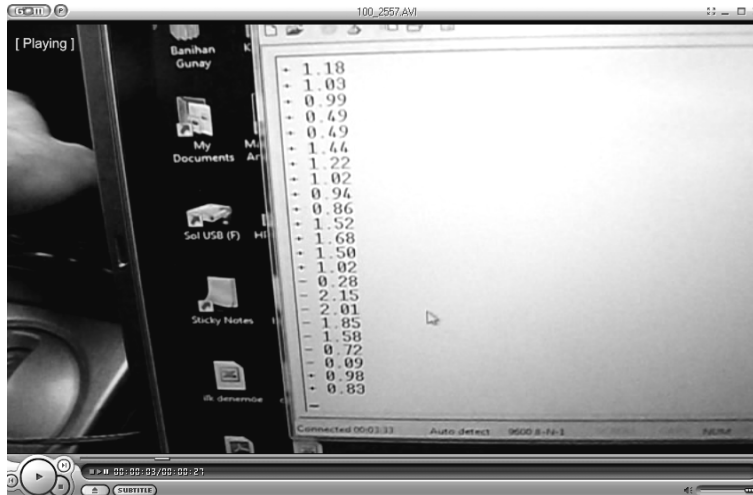
Şekil 3. Elektronik ball-bank cihazının araçtaki konumu



Şekil 4. Aracın digital hız göstergesindeki değerleri filme alan (ses de kaydeden) birinci video kamera ve görüntüsü



Şekil 4. devam



Şekil 5. Bilgisayara kaydedilen ball-bank değerlerini filme alan ikinci araştırmacının elinde tuttuğu (ses de kaydeden) ikinci video kamera görüntüsü

3.3. Burhanettin Onat Kurbu Bulguları

İlk olarak, Burhanettin Onat kurbunda enine eğimin kaç derece olduğu hakkında bir fikre sahip olmak için trafiğin çok az olduğu bir zaman diliminde (bir pazar sabahı) test aracı 6-7 km/sa hızı aşmayacak şekilde sürülmüş ve ball-bank okumalarının kurbun tam içerisinde $0,3^\circ$ 'nin (% 0,5) altında kaldığı görülmüştür. Daha sonra bu kurptan test aracı ile üçü dış şerit, üçü de iç şeritte olmak üzere altı kez geçilmiştir. Fakat nadiren de olsa iç şeritte seyreden ağır vasıtalar sebebiyle sürüş hızı etkilenmiş ve bu yüzden sadece dış şerit verileri çalışılmıştır. Ball-bank cihazı saniyede dört ölçüm yaptığı için her iki video kamerayı

Yatay Kurp Tahkiklerinde Ball-bank Tekniğinin Kullanımı

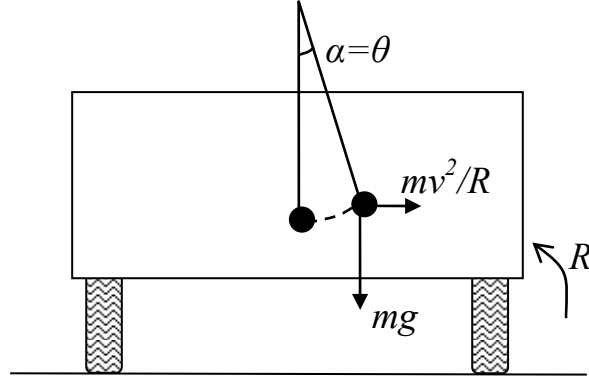
kullanarak kurp boyunca elde edilen verilerin karşılığı olan sürelerin de hesaplaması mümkün olmuştur.

Örneğin bir turda kurp giriş ve çıkışlarında referans alınan iki nokta, video görüntülerinden tespit edilip bu noktalar arasındaki süre 8 sn. olarak ölçülmüştür. Bu süre zarfında ball-bank cihazından gelen veri sayısı 32 adettir. Bu sayede ' $Yol = Hız \times Zaman$ ' formülünden saniye saniye aracın konumu da hesaplanabilmektedir (Tablo 2). Tablodaki hızlar aracın hız göstergesinden okunan değerlerdir. Yukarıdaki (3) nolu denklemin özel bir durumu olan (kurp boyunca %0,5'i aşmayan dever miktarı ve çok küçük olan gövde salınımının birbirlerini götürdüğü kabulü ile) deversiz bir kurp için (Şekil 6) aşağıdaki ilişki yazılabilir.

$$R = \frac{v^2}{g \tan \theta} \quad (4)$$

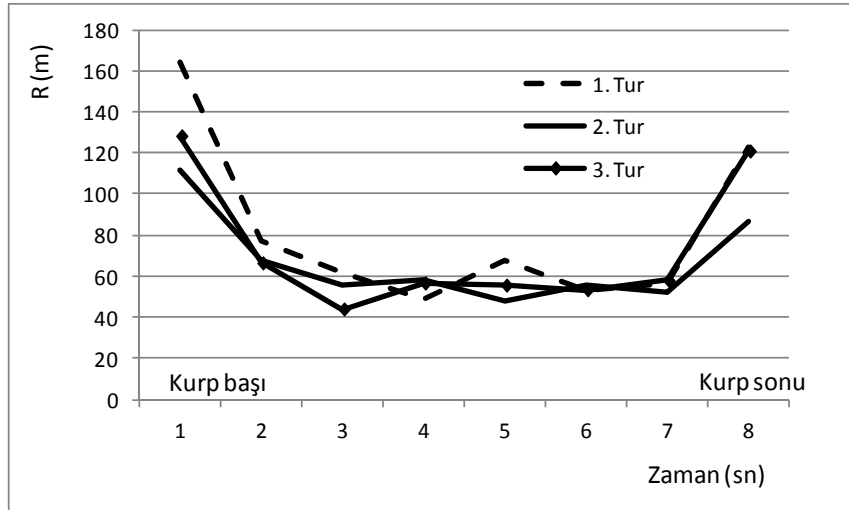
Tablo 2. Burhanettin Onat kurbundaki konum (x), hız (V), süre (t) ve ball-bank (θ) değerleri

	x (m)	V (km/sa)	t (sn)	θ (°)
1. Tur	0	71	0	0,31
	19,5	69	1	11,42
	38,1	65	2	20,81
	55,5	61	3	22,52
	72	58	4	25,34
	88,1	58	5	18,68
	104,2	58	6	23,21
	120,5	59	7	22,70
	137,1	61	8	11,74
2. Tur	0	61	0	0,21
	17	61	1	12,88
	33,2	59	2	19,41
	49,2	56	3	20,86
	64,4	54	4	18,63
	79,6	54	5	22,31
	95,3	58	6	22,48
	111,6	59	7	24,59
	128,2	61	8	16,40
3. Tur	0	69	0	0,38
	18,9	67	1	13,68
	36,8	62	2	21,71
	53,5	58	3	27,51
	69,3	56	4	20,56
	84,8	56	5	20,92
	100,7	58	6	23,24
	117,1	60	7	23,07
	134,2	63	8	12,76



Şekil 6. Burhanettin Onat kurbu için $\phi - \rho \cong 0$ kabulü

Tablo 2'den her üç tur için bu ilişki bilgisi elde edilebilmektedir. Ancak bilindiği üzere araçlardaki hız göstergelerinin üreticileri emniyetli tarafta kalmak için yasa gereği aracın gerçek hızına 4-5 km/sa ekleyerek kadrana yansıtılmaktadır. Bu durumda bu emniyetli miktar düşülürse Şekil 7'deki gibi bir durum ortaya çıkmakta, yani karp orta bölgesinde yaklaşık 55-60 m gibi bir yarıçap görülmektedir. Bu da, sağlamasını yapmak adına, Burhanettin Onat kurbuna ait Antalya Büyükşehir Belediyesi'nden alınan ve bu iki şeritli yolun sağ kenarında $R = 55$ m sol kenarında da $R = 62$ m olan proje değeri ile mükemmel bir şekilde örtüşmektedir.



Şekil 7. Formülden giderek yarıçap kestirimi

Yukarıdaki hızlar, konfor sınırına değil, test aracı sürücüsünün karp içerisinde yapabildiği maksimum hızlara karşılık gelmekte olup aracın biraz daha hızlı sürülmesi durumunda her an savrulmanın başlayabileceği limit değerlerdir. Dolayısı ile farklı araç, farklı lastik

Yatay Kurp Tahkiklerinde Ball-bank Tekniğinin Kullanımı

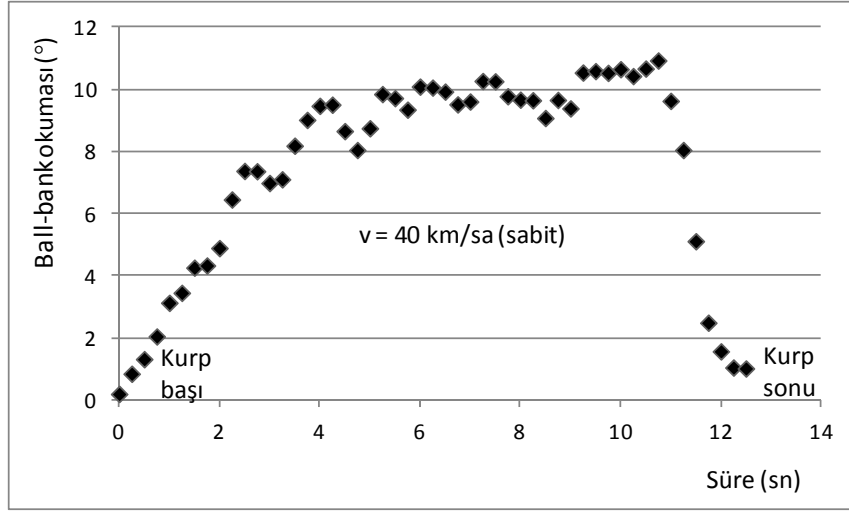
basıncı ve kalitesi, farklı yol yüzey pürüzlülüğü gibi durumlarda rahatlıkla güvensiz tarafa geçilebilme olasılığı söz konusudur. Mevcut literatür de [6-10] bu türden bir yol ve hız dilimi için yaklaşık 12°'lik ball-bank değeri önermektedir. Bir de, yarıçapı ve olması gereken ball-bank değerini sabit (ve biliniyor) kabul edip, hızı (4) nolu formülden çekerek aşağıdaki denklem elde edilebilmektedir.

$$v = \sqrt{gR \tan(\alpha + \theta - \rho)} \quad (5)$$

O zaman, Burhanettin Onat kurbunda konfor tahdidine göre yapılabilecek maksimum hız ($\theta - \rho \cong 0$ kabulü ile),

$$v = \sqrt{9,81 \times 60 \times \tan 12} = 40.3 \text{ km/s}$$

olarak bulunmaktadır. Araçların hız göstergelerinde ise bu rakam yaklaşık 44-45 km/sa değerine karşılık gelmektedir. Başka bir gün yine trafiğin az olduğu erken bir saatte test aracı kurp bölgesinde mümkün olduğunca 40 km/sa hızla geçecek şekilde sürülerek ball-bank okumaları alınmış ve değerlerin 9°-11° bandında kaldığı görülmüştür (Şekil 8). Böylelikle yukarıdaki teorik yaklaşımın bir sağlaması da sahada yapılmış olmaktadır.



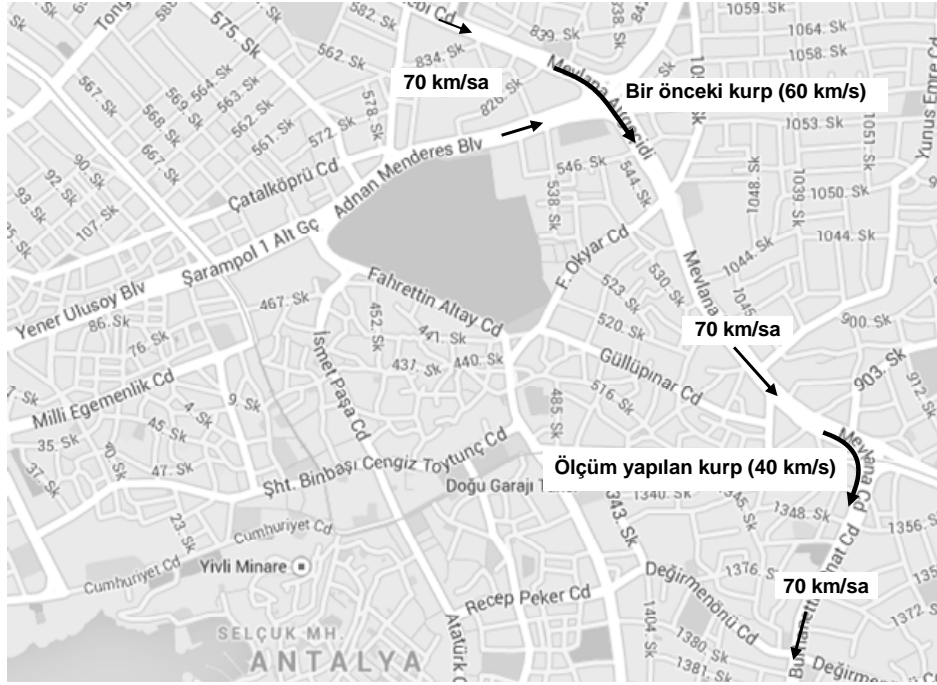
Şekil 8. Kurp ortasında sabit hızda okunan ball-bank değerleri

Ayrıca, bu yol kesimi normalde hız sınırının 70 km/sa olduğu bölünmüş bir yol olan Yüzüncü Yıl Bulvarı, Adnan Menderes Bulvarı, Mevlana caddesi ve Burhanettin Onat caddesi üzerinde olup, kentin ana arterlerindedir (Şekil 9). Bu arter üzerinde Batıdan Doğuya doğru giden sürücüler ilk olarak hız sınırının 60 km/sa olduğu (ölçümlerin yapıldığı tarih itibarıyla daha büyük yarıçaplı) Mevlana cad. kurbuna girmekteler ve daha sonra da (böyle bir ana yolda) pek alışılmadık bir hız sınırının (40 km/sa) olduğu Burhanettin Onat caddesindeki kurp ile karşılaşmaktadırlar. Hâlbuki yoldaki dever

hatasının giderilmesi durumunda sürücülerin beklentisine daha uyumlu bir hız limiti yeterli olabilecektir. Örneğin arzulanan ball-bank değeri maksimum 12° , yarıçap 60 m ve makul maksimum bir dever miktarı olarak da %8 ($4,6^\circ$) alınırsa, (5) nolu formülden,

$$v = \sqrt{9,81 \times 60 \times \tan(12 + 4,6)} = 47,7 \text{ km/s}$$

çıkar. Bu da araçların hız göstergesinde yaklaşık 52 km/sa gibi bir rakama karşılık gelmektedir. Yani basit bir mühendislik uygulaması (dever) ile kurp boyunca hem konfor sınırı (makul bir yanal ivmelenme limiti) aşılmamış olunacak hem de kurp harici kesimlerde 70 km/sa olan hız limitine sahip bir yolda kurp bölgesi hız tahdidi (40 km/sa'ten) 50 km/sa'e çıkartılabilecektir. Bu da, o yol üzerinde seyreden sürücülerin beklentilerine daha yakın bir hız limiti anlamına gelmektedir.

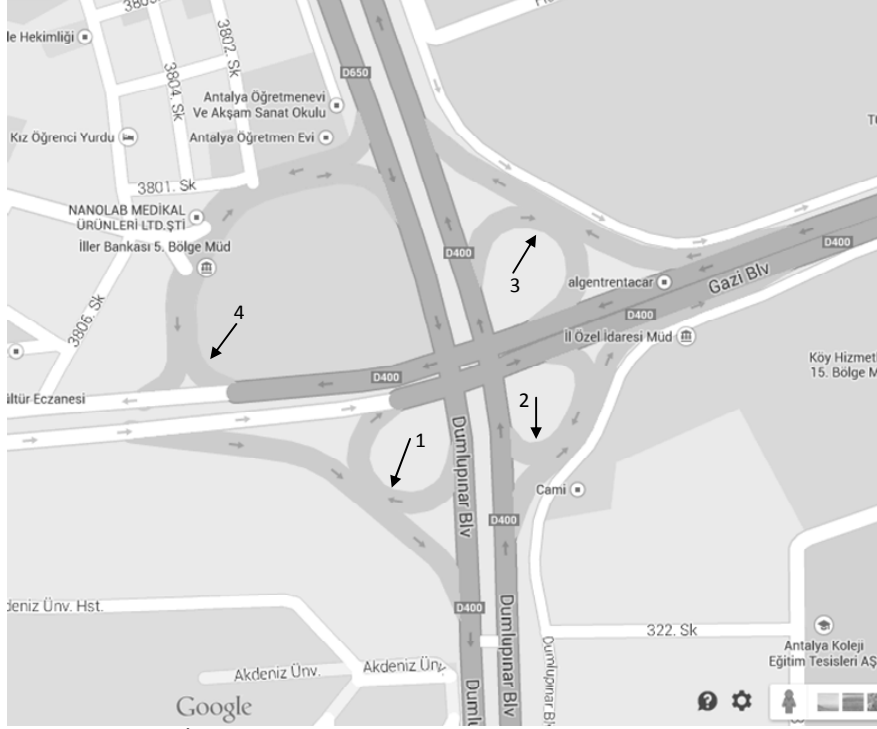


Şekil 9. Hız limitinin alıymanda 70, bir önceki kurpta 60, ölçüm yapılan kurpta da 40 km/sa olduğu hat (Google Maps)

3.4. İller Bankası Kavşağı Kurplarına Ait Bulgular

İkinci bir örnek uygulama olarak Şekil 10'da görülen D400 karayolu üzerinde bulunan ve Akdeniz Üniversitesi Ana Kampüsünün Kuzeydoğu köşesine dek gelen İller Bankası köprülü kavşağındaki dört adet yonca yaprağı çalışılmıştır. Yukarıdaki aynı ölçüm ve analiz adımları izlenerek Tablo 3'deki bulgular elde edilmiş olup detaylar tekrarlanmadan sadece sonuçlar özetlenmiştir. Burada bilinenler, yarıçap, dever ve ball-bank okumaları olup formülden hız çekilebilmekte veya mevcut dever artırılıp hız tahdidi ne olmalı sorusuna cevap bulunabilmektedir.

Yatay Kurp Tahkiklerinde Ball-bank Tekniğinin Kullanımı



Şekil 10. İller Bankası kavşağı kurp isimlendirmeleri (Google Maps)

Tablo 3. İller Bankası kavşağı özet ölçüm sonuçları

	Kurp No (Bkz. Şekil 10)			
	1	2	3	4
Ball-bank tekniği ile ölçülen kurp içi enine eğim (dever, ϕ), Beş turun ortalaması	2° (%3,5)	2° (%3,5)	2° (%3,5)	2° (%3,5)
Test aracı ile kurp ortasında yapılabilen azami hız (3,6v), km/sa Beş turun ortalaması	50	36	50	45
v hızına tekabül eden kurp ortasında okunan ball-bank değeri (θ°), Beş turun ortalaması	26°	26°	26°	24°
$\alpha = \theta + \phi - \rho$	27°	27°	27°	25°
(Bilinen) yarıçap, R (m)	36,0	21,5	42,0	33,3
$\theta = 12^\circ$ aşılması istenirse (% 8 dever ile birlikte) kurp bölgesinde olması gereken hız tahdidi (km/sa)	36+5 = 41	28+5 = 33	39+5 = 44	35+5 = 40
Buna göre hız tabelasında gösterilmesi gereken yuvarlatılmış değer (km/sa)	40	30	40	40

$\rho=1^\circ$ alınmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yukarıdaki ölçüm ve analizler göstermiştir ki sorunlu olduğu tahmin edilen ve yaklaşımında boyuna eğime de sahip zor bir yatay kurpta, yolu trafiğe kapamadan sadece iki kişi ile ball-bank tekniği kullanılarak bir seri tahkik yapılabilmekte ve ilk rapor ilgililere hızlıca sunulabilmektedir. Henüz ülkemizde kurumlarca uygulanmayan ball-bank ölçüm tekniğinin bu çalışma vasıtasıyla değer kazanıp yetkililerce gündeme alınması önerilmektedir. Bu sayede karayollarında gözle görülür bir güvenlik artışı ve kurplar arası uyumlu bir konfor ahengi sağlanılabilecektir. Ülkemizde projesi olmayan yolların oldukça fazla oluşu da bu tekniğin önemini arttırmaktadır çünkü hiçbir yerden yarıçap ve benzeri geometrik veri istemeden direk ölçüme gidilebilmektedir. Aslında olması gereken, yol inşa edilir edilmez ve daha trafiğe açılmadan bu kontrollerin her yatay kurp için rutin bir şekilde, hızlı, az zahmetli, ucuz ve daha az sayıda insan gücü gerektiren küçük ekiplerle yapılabilmesidir. Kontrollerin rutin olması önemlidir çünkü zamanla yol temelinde kurp bölgesinde devere etki edecek dengesiz oturmalar olabilmekte veya üstyapı bakım ve onarım çalışmaları sırasında dever miktarında projeden sapmalar yaşanabilmektedir. Dolayısıyla bu kontroller belirli aralıklarla tekrarlanmalıdır.

Ayrıca değinilmesi gereken bir nokta da şehir içi dever uygulaması tartışmasıdır. Bilindiği üzere dever, hızın bir fonksiyonu olup, batı standartlarına göre gerek şehir dışı ve gerekse şehir içi yollarda (belli kıstasları da hesaba katarak) kesinlikle uygulanması gereken bir geometrik tasarım zorunluluğudur. Makalede çalışılan ilk örnek olan Burhanettin Onat Kavşak bölgesi alt geçidine girmeden hemen önce bazı uyarı levhaları bulunmaktadır. Örneğin boyuna eğimin başladığı noktadan itibaren 'YAVAS' tabelaları sıralanmıştır. Yüzey tırtıklaması yapılmış ama mikro pürüzlülüğe dikkat edilip edilmediği hep tartışılmıştır. Deveri arttırma adına kalıcı bir mühendislik uygulaması henüz yapılmamıştır. 'Dever olursa hız artar bu da daha şiddetli kazalara yol açar' şeklinde bir argüman kesinlikle kabul edilemez. Hız artacak diye deverden kaçınmak mühendisçe bir yaklaşım olamaz. Hem yeterli dever verilmeli, hem de trafik polislerince (makul) hız limitine istikrarlı yaptırım politikaları güdülmelidir.

Semboller

m	: Kütle (kg)
v	: Hız (m/sn)
V	: 3,6v (km/sa)
R	: Kurp yarıçapı (m)
θ	: Ball-bank değeri (derece)
α	: Merkezci ivme açısı (derece)
ϕ	: Dever (derece)
ρ	: Gövde salınımı (derece)
CD	: Compact Disc
GPS	: Global Positioning Systems

Teşekkür

Çalışma ile ilgili değerli bilgi ve görüşlerini aldığımız Antalya Büyükşehir ve Muratpaşa İlçesi Belediyelerine, Karayolları 13. Bölge Müdürlüğüne ve Antalya Emniyet Müdürlüğü Trafik Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığına teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- [1] Türe, F., Çelik, F. ve Aytaç, B. P. Karayollarında Kaza Oluşumu ile Karayolu Güvenlik İlişkisinin İncelenmesi, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, 77-90, 2008.
- [2] Lee, J. T., Review of Ball-Bank Reading Criteria for Advisory Speed on Curves, Virginia Department of Transportation, Traffic Engineering Section, 2009.
- [3] Günay, B. Enine İvme ve Sademe Formülleri Üzerine Bir Eleştiri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15, 56-59, 2011.
- [4] Carlson P. J. and Mason, J. M., Relationships Between Ball Bank Indicator Readings, Lateral Acceleration Rates, and Vehicular Body-Roll Rates, Texas Transportation Institute, 34-42, TR No 1658, 1999.
- [5] Echaveguren, T. and Vargas-Tejeda, S. A Model for Estimating Advisory Speeds for Horizontal Curves in Two-Lane Rural Roads, Canadian Journal of Civil Engineering, 40, 1234-1243, 2013.
- [6] Manual on Uniform Traffic Control Devices, Department of Transportation, Washington D.C.: Federal Highway Administration, 2009.
- [7] Merritt, D. R. Safe Speeds on Curves A Historical Perspective of the Ball Bank Indicator, ITE Journal, September, 1988.
- [8] Traffic Control Devices Handbook, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.: Federal Highway Administration, 2.21-2.26, 1983.
- [9] Chowdhury, M., Warren, D., Bissell, H. and Taori, S., Are the Criteria for Setting Advisory Speeds on Curves Still Relevant? Institute of Transportation Engineers Journal, 68(7), 32-45, 1998.
- [10] Institute of Transportation Engineers, Traffic Control Devices Handbook 2001: An ITE Informational Report, 2011.
- [11] Gattis, J., Vinson, F. and Duncan, L. Low-Speed Horizontal Curve Friction Factors, Journal of Transportation Engineering, 131(2), 112-119, 2005.
- [12] İl Emniyet Müdürlüğü, Antalya, Resmi Yazışma, Kasım 2011.
- [13] Milstead, R. Qin, X., Katz, B., Bonneson, J., Pratt, M., Miles, J. and Carlson, P. J., Procedures for Setting Advisory Speeds on Curves. FHWA-SA-11-22, Federal Highway Administration, Washington, D.C., June 2011.