

Ortalama Hız Tespit Sistemlerinin Doğrulama Metodolojisi

Banihan GÜNAY^a, Kadir AKGÖL^{*,b}

^a Gençlik Mah. 1326 Sok. 10/1, ORCID: 0000-0002-4640-417X, ANTALYA 07100, TÜRKİYE

^b * Giresun Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-1939-6717, GİRESUN 28000, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 24.08.2019
Kabul: 14.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Ortalama hız koridoru
Elektronik denetleme
sistemi
Plaka tanıma sistemi

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
kadir.akgol@giresun.edu.tr

ÖZET

Karayollarında hız kontrolleri uzun yıllardan beri (polis radarı gibi) noktasal hız ölçümleriyle yapılmakta olup, bu yöntemin bazı dezavantajları nedeniyle artık birçok kentte Ortalama Hız İhlal Tespit sistemleri tercih edilmeye başlamıştır. Genellikle yol üstü ‘tak’lara monte edilen plaka okuyucu sabit kameralar ile yapılan bu uygulama sayesinde yalnız bir nokta değil tüm koridor kontrol altına alınabilmektedir. Ancak, anlık hız ölçümlerinde, sadece kullanılan radar cihazının bakım ve kalibrasyonu yeterli olurken, ortalama hız ihlal tespiti uygulamalarının ise bir sistem olarak doğrulamasının yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde sürücülerin kendilerine tevdi edilen cezalara itiraz etmeleri durumunda idarenin yasal yükümlülüklerine maruz kalması söz konusudur. Konusunda uzman bağımsız trafik mühendislerce yapılması gereken bu doğrulama işlemi için bilimsel bir metodolojinin acilen literatüre kazandırılmasına gereksinim vardır. Bu teknik not ile söz konusu bu boşluk doldurulmuş olacaktır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.02>

A Verification Methodology for Average Speed Detection

ARTICLE INFO

Received: 24.08.2019
Accepted: 14.04.2020

Keywords:

Average speed corridor
Electronic traffic control
systems
Automatic number plate
recognition

***Corresponding Authors**

e-mail:
kadir.akgol@giresun.edu.tr

ABSTRACT

Speed controls on roads have been carried out by spot speed measurements (like the police radar) for many years, but due to some of the disadvantages, Average Speed Limit Infringement Detection systems are becoming widely accepted in many places. By means of a series of automatic number plate recognition (ANPR) cameras, usually mounted on a square arch above the roadway, a corridor, rather than a point, can be surveilled. However, whereas the maintenance and calibration of a radar device is sufficient for spot speed measurements, for average speed limit applications the whole system needs to be verified. Without such verification documents, authorities may face legal cases by drivers who object to the speeding penalties issued against. An academic methodology needs to be promptly introduced to the literature for this verification procedure to be undertaken by independent and expert traffic engineers in countries where such audits have become compulsory by law. This technical note will therefore fill in this gap as a guidance document.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2020.01.02>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1.1. Konu ve Kapsam (Scale and Scope)

Trafik kazalarının başlıca sebeplerinden birisi de yüksek hızda araç kullanmak olup yüklü para cezalarının kesildiği bir kural ihlalidir. Birçok ülkede sürücü hatalarından kaynaklanan kazalar toplam kazaların çok yüksek bir kısmını oluşturmaktadır. Yüksek hız kazaları ise toplam kazaların yaklaşık üçte birini teşkil etmektedir. Hız arttıkça kaza ihtimali artmakta ve kazanın şiddeti de büyümektedir [1-5].

Trafikte yüksek hız problemine karşı her ülkede çeşitli hız denetim sistemleri uygulanmakta olup son yıllara kadar en yaygın olanı polis radarıyla anlık hız tespitleridir. Ancak eğer sürücü, polis radar kontrol yerini biliyorsa, o noktaya yaklaştığında hızını düşürüp cezadan kurtulabilmektedir. Hatta bu noktaları sürücüye hatırlatan elektronik cihazlar bile mevcuttur. Dolayısıyla aşırı hız konusunda bu kısmi iyileşme sadece radarın bulunduğu nokta ve civarında olmakta, uzun mesafeler boyunca etkili olamamaktadır. Bir başka dezavantaj da büyük miktarlarda polis sayısına, zamanına ve kaynaklarına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için son yıllarda, diğer kullanım alanlarına [6] ilave olarak, otomatik plaka okuyan teknolojiler kullanarak ortalama hız limiti uygulamaları birçok gelişmiş ülkede ve özellikle de büyük şehirlerde (sürdürülebilirlikle paralel) yaygınlaşmaktadır [7-11]. Her ne kadar ilk kurulum masrafları yüksek olsa da ileriye yönelik trafik kazaları ile ilişkili sosyoekonomik maliyetlerin düşük oluşu gibi nedenlerden dolayı Ortalama Hız Tespit sistemleri

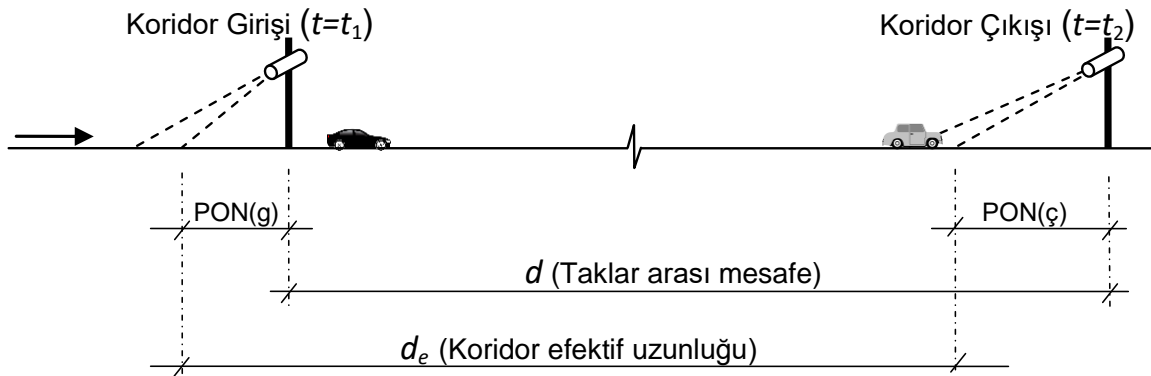
literatürde son derece etkili ve güvenilir bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

İtalya otoyollarında 2005 yılında başlayan ve geniş çapta uygulanan Ortalama Hız Tespit Sistemlerinin trafik kazaları üzerindeki etkisi uzun yıllar boyunca gözlemlenmiş ve oldukça tatmin edici oranlarda iyileşmeler gözlemlenmiştir. Örneğin kapsamının %10 artmasıyla kazalarda %3,9 azalma sağlanmış olması gibi dikkat çekici bulgular elde edilmiştir [12]. Sistemin uzun yıllar boyunca uygulandığı diğer ülkeler olan İngiltere, Hollanda ve Avusturya'da da benzer yararlar gözlemlenmiştir [13].

Ancak bu tür sistemlerin kurulum aşamasında bazı doğrulamaların yapılmamış ya da eksik yapılmış olması hukuki sorunlar doğurmaktadır. Ülkemizde bu sistemlerin kalibrasyonu / doğrulanması amaçlı ve genel kabul görmüş bir standart henüz olmamakla birlikte, Emniyet Genel Müdürlüğü'nün şartnameleri ve TÜBİTAK raporlarında [14] konu ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur. Ancak literatürde akademik bir yaklaşım (bir takım teknik raporlar haricinde (Örn. [15, 16]) henüz oluşmamıştır ve buna ciddi anlamda gereksinim vardır.

1.2. Ortalama Hız Koridoru Elemanları (Elements of An Average Speed Corridor)

Ortalama hız ihlal tespit sistemleri prensip olarak aralarındaki d mesafesinin bilindiği plaka tanıma özelliği olan iki adet kameradan geçen araçların sırasıyla t_1 ve t_2 olan geçiş zamanlarının bir yazılım tarafından kaydedildiği bir sistem mimarisine sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Sistem mimarisi - ön plaka okuma (System architecture – front number plate reading)

Burada araçların ortalama hızları

$$v_{ort} = \frac{d}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır. Bu iki nokta arasında iken araçların (anlık) hızlarının dalgalanması mümkündür, ancak ortalama hız sınırı konseptinde bu dikkate alınmaz.

Plaka okuyan kameralar koridordaki trafiği önden ya da arkadan görecektir şekilde konumlandırılabilirler. Her iki tür de pratikte kullanılmaktadır. Giriş ve çıkış taklarına monte edilen kameraların yola bakış açılarını birbiri ile aynı tutmak zorunluluğu olmadığı gibi bunu ayarlamak da kolay değildir. Önemli olan (bir takta birden fazla kamera varsa) bunların açılarının birbirleri ile aynı olmasıdır. Genelde o noktanın ışık vs. özelliklerine göre plakaları en iyi okuyabildikleri açıya göre montaj yapılır. Bu da her tak için ayrı bir Plaka Okuma Noktası (PON) tanımlamasını gerekli kılar. Şekil 1’de gösterilen bu PON uzunlukları pratikte genellikle 20-40 m civarındadır. Dolayısıyla artık (1)’deki formülde d (taklar arası mesafe) yerine d_e (koridor efektif uzunluğu) kullanılır:

$$v_{ort} = \frac{d_e}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Bu sistemler görüntü işleme (image processing) yazılımları ile plaka tanıma işini ya kamera içerisindeki küçük bir bilgisayar devresi ile, ya yol kenarındaki bir kabin içerisindeki endüstriyel bilgisayar ile, ya da çekilen resimleri ve zaman bilgilerini merkeze göndererek oradaki ana bilgisayar üzerinden gerçekleştirmektedirler. Bunlardan hangisi kullanılırsa kullanılsın, sistemin doğru bir şekilde çalışıyor olabilmesi aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

(a) Her bir kameranın yaptığı okumaya ait gerçek zamanın bütün sistemde aynı (senkronize) olması; ve

(b) (2) numaralı formülde kullanılacak olan koridor efektif uzunluğunun doğru bir şekilde ölçülmüş olması.

Bölüm 3’te anlatılacağı üzere, bu maddelerden sadece ikincisi detaylı ve kritik bir doğrulama çalışmasını gerektirmekte olup bu makalenin de konusunu teşkil etmektedir. İlk madde için, incelemesi yapılan sistemden sorumlu kurumun senkronizasyon hakkındaki beyanları doğrultusunda karar verilir.

Yukarıdaki (a) ve (b) maddelerinden hariç ayrıca bir de yazılım tarafından görüntü işleme teknolojisiyle okunan plakaların doğru okunmuş olması gerekmektedir. Plaka doğru okuma oranı kaç bildirilmiş ise ihlal tespitinin bu doğru okunan plakalar üzerinden yapıldığı, yanlış okunan plakaların ise hesaba katılmadığının kabul ve peşinen beyanı ile hareket edilir.

Doğrulama analizlerine geçmeden önce, bir sonraki bölümde pratikte kullanılan uzunluk ölçüm teknikleri hakkında kısaca bilgi verilecektir, çünkü bir doğrulama çalışmasında yapılması gereken en önemli iş kalemi d , PON(g) ve PON(ç) uzunluklarının doğru bir şekilde ölçülmesi olmalıdır.

2. UZUNLUK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ (DISTANCE MEASUREMENT TECHNIQUES)

2.1. Yolun Dijital Bir Projesi Varsa (Where A Digitised of The Road Is Available)

Piyasada mevcut dijital çizim yazılımları ortamında, doğrulaması yapılacak koridorun bulunduğu yola ait ölçekli çizilmiş bir projenin olması durumunda o çizimde işaretli herhangi bir noktadan hem proje üzerinde hem de sahada referans olarak giriş ve çıkış taklarının yerleri çizim üzerine işaretlenir. Daha sonra bu iki nokta arasındaki mesafe, yazılımın sanal cetvel özelliği kullanılarak ölçülür. Eğer taklara ait hassas GPS koordinatları alınmış ise bu koordinatlar bu dijital proje üzerine işaretlenerek tak konumları belirlenebilir.

2.2. Yolun Kağıt Ortamında Ölçekli Bir Projesi Varsa (Where A Paper Copy of The Drawing of The Road -To Scale- Is Available)

Bu durumda da yukarıdaki gibi ortak bir referans noktası vasıtasıyla tak konumları proje üzerine işaretlenir ve çizimin ölçeği kullanılarak iki tak arası mesafe fiziki bir cetvel yardımıyla gerek doğrusal gerekse poligon olarak okunur.

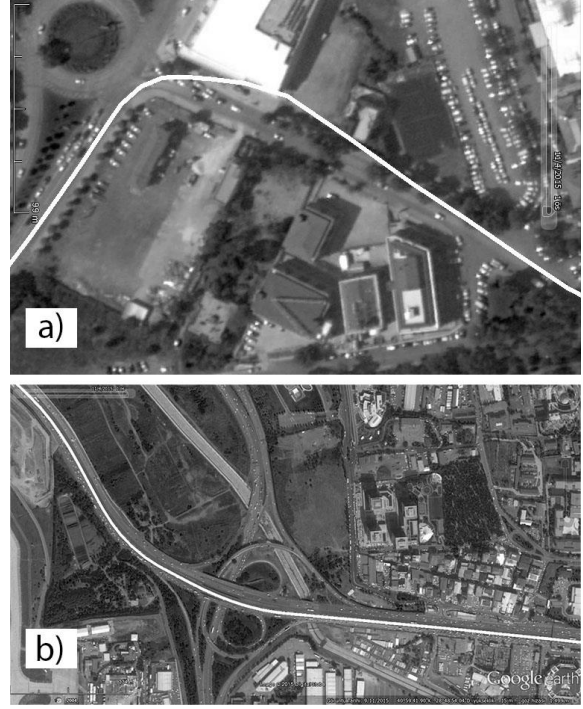
2.3. Dijital Harita Yöntemi (Using a Digital Map)

Yola ait ne dijital ne de kâğıt ortamında bir proje mevcut değil ama hassas bir GPS cihazı kullanılarak tak koordinatları alınmış ise piyasada mevcut ticari bir dijital harita yazılım programına bu koordinatlar aktarılarak ve bu programın poligon uzunluğu ölçme özelliği kullanılarak iki tak arası mesafe okunur. Eğer koridor bir alıyman parçası ise iki tak arası kuş uçuşu mesafe $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ bağıntısını ya

da daha uzun mesafeler için Haversine [17] formülü kullanılarak da kolaylıkla hesaplanabilir. Burada (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) sırasıyla giriş ve çıkış taklarının (ya da daha doğru bir ifadeyle taklardaki kameraların) koordinatlarıdır. Yöntem, takım tünel içi gibi uydu bağlantısının kopduğu bir yere dek gelmesi veya tünel boyunca güzergâhın yatay düzlemdeki kuş bakışı planının kullanılan dijital haritada gözükmemesi gibi dezavantajlara sahiptir.

2.4. GPS Kaydı (Using GPS Logging)

Yukarıdaki gibi yine bir el GPS'i kullanarak ve cihazın iz kayıt (tracking) özelliğini açarak kat edilen yol boyunca sürekli ve otomatik olarak konum alımı yapılabilir. Bu tür cihazlar ya belirli bir zaman ya da mesafe aralığı sıklığında konum alırlar. Örneğin 'her iki saniyede bir' ya da 'her 20 metrede bir' gibi. Dolayısı ile çok sık konum alındığından dolayı her bir kaydın barındırdığı hatalar birbirini nötrleştireceğinden iz kayıt özelliği hareket halindeki bir aracın izlediği yolu (araç aşırı hızlı hareket etmediği ya da araç keskin kurpları dönmediği müddetçe) oldukça iyi bir şekilde gösterebilmektedir (Şekil 2). Daha sonra, cihazın kaydettiği bu *tracking log*'a ait toplam uzunluk doğrudan okunabilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, ayarlama sırasında konum alma sıklığını 'zaman' değil de 'mesafe' üzerinden verilmesi gerektiğidir. Çünkü test aracı eğer iz kayıt sırasında duraklama yapmış ise cihaz bu sırada da konum almaya devam edecek ve toplam iz uzunluğunu yanlış yere arttıracaktır (Şekil 3). Ama mesafe üzerinden sıklık ayarı yapıldı ise araç durduğunda (yer değiştirme olmadığından) cihaz konum ataması yapmayacaktır. Bu çok önemli bir husustur. Ayrıca, mesafe sıklığı cihazın hassaslığından daha küçük olmamalıdır. Özellikle bulutlu hava şartlarında el GPS cihazlarının hassaslığı düşeceğinden çok kısa seçilen mesafe sıklığında araç hareket etmiyorken bile cihazın sehven konum okumasına yol açılabilir. Cihazın uydu ile olan bağlantısının araç dışındaki gibi iyi olması için test süresince mümkünse araç içerisinde yan camın açılıp cihazın dışarıda tutulması ya da harici anten bağlantısı ile desteklenmesi gerekmektedir. Ayrıca aynı test için birden fazla cihaz kullanarak her bir cihazın ürettiği iz, harita yazılımında üst üste getirilerek ortalama bir uzunluk da okunabilir.



Şekil 2. (a) Keskin kurpların hızlı geçilmesi sırasında artan iz kayıt hatası ve (b) alıyanda ve büyük yarıçaplı kurplarda iyileşen hassaslık ((a) Increased tracking error when travelled fast along sharp curves and (b) improved sensitivity along straight sections, or curves with large radii)



Şekil 3. Konum alma sıklığının 'zaman' biriminde seçilmesi halinde test aracının duraklaması sonucu oluşan gerçek dışı ilave mesafe (additional unrealistic tracking distance occurred, as a result of stopped test vehicle, when 'time-based' tracking option is selected)

2.5. Araç Kilometre Gösterge Yöntemi (Using Test Vehicle's Odometer)

Çok uzun koridorlarda, aracın kilometre sayacı sıfırlandıktan sonra, hep aynı şeritte kalmak kaydıyla bir taktan diğerine araç sürülür ve taklar arası mesafe okunur ancak bu tür sayaçlar genelde kilometrenin 1/10'unu gösterebilirler. Dolayısı ile yöntem 0 ila 100

metre arasında bir hata içerir. Ancak eğer giriş takında sıfırlanan sayacın son hanesi tesadüfen tam da çıkış takına gelindiğinde yeni bir rakama atmış ise o zaman tam değer okunmuş olur, ama bu düşük bir ihtimaldir. Yöntemin bu hassaslık sorununu gidermek adına pratikte şöyle bir taktik izlenmektedir: Giriş takının altında sayaç sıfırlanarak koridor boyunca test aracı sürülür ve çıkış takının altına gelindiğinde sayacın son hanesindeki rakam değişinceye kadar biraz daha sürüşe devam edilir ve tam yeni bir değere attığı noktada test aracı durdurulur. Daha sonra araçtan inerek geriye (çıkış takına) doğru tekerlekli mesafe ölçer vb. bir metot kullanılarak bu ilave uzunluk geriye doğru ölçülür. Bu ilave değer araç kilometre göstergesinin okuduğu toplam uzunluktan çıkartılır. Uydu bağlantısı gerektiren yöntemlerin kullanılmadığı tünel içi gibi yerlerde bu metot avantajlı olabilir.

2.6. Tekerlekli Mesafe Ölçer Yöntemi (Using a Road Measuring Wheel)

Çok uzun olmayan koridorlarda ya tekerlekli mesafe ölçerin el ile banket üzerinde sürülmesi ya da trafiğin çok az olduğu bir zamanda araç içerisinde yolcu tarafında oturan bir kişinin aracın kapısını açıp tekerleği dışarıda tutarak aracın da yavaş bir hızda bankette veya bankete yakın şeritte sürülmesi ile yapılan bir okumadır. Her ne kadar bu ikinci uygulama (kaza riski taşınması, yol yüzeyi bozukluklarından etkilenmesi ve bu cihazın sadece yürüyüş hızında kullanılmak üzere üretilmiş olması gibi nedenlerden dolayı) tavsiye edilemese de pratik oluşu nedeniyle uygulamada kullanılmaktadır. Tekerlek yöntemi ile uzunluk okumalarında tekerleğin ilerlerken sinüzoidal bir hareket yapıyor olması ölçülen uzunluğun gerçektekinden bir miktar fazla okunmasına yol açmaktadır.

2.7. Lazermetre (Using a Laser Distance Meter)

Elektronik ve optik uzunluk ölçerlerden olan lazermetreler oldukça hassas cihazlardır. 350 metreye kadar olan uzunluklar için kullanılan el tipi cihazlarda hassaslık 1-3 mm civarındadır [18]. Karşı uçta reflektör prizma kullanılması halinde doğrusal ölçüm mesafesi birkaç kilometre mertebelerine kadar çıkabilmektedir.

2.8. Çelik Şerit Metre (Using a Type Measure)

Gergin tutulmak şartıyla şerit metreler de kısa mesafelerin ölçümünde kullanılabilir. Şerit metrenin

yaptığı sehim hesaplanarak okunan uzunlukta (Bölüm 2.6'dakine benzer) bir düzeltmeye gidilebilir [19].

2.9. Diğer Jeodezik Yöntemler (Other Surveying Techniques)

Koridor doğrulaması yapan trafik mühendisinden hariç, harita mühendisliği teknik elemanlarından yardım alınarak nivelman yoluyla da hassas koridor uzunluğu ölçümü yapmak mümkündür, ancak ekip kalabalıklaştıkça sistemin doğrulama maliyeti artacaktır.

3. DOĞRULUĞA ETKİ EDEN

PARAMETRELER (PARAMETERS AFFECTING THE VERIFICATION PROCESS)

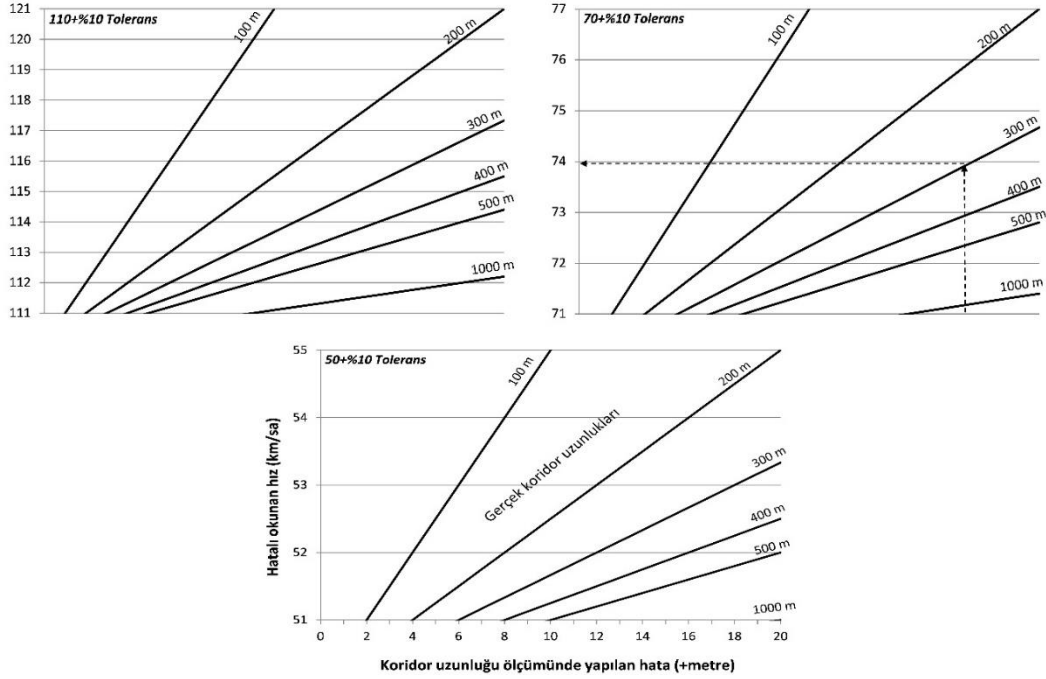
3.1. Mesafe Parametresi (Distance Parameter)

Mesafe parametresi giriş ve çıkış kameralarının arasındaki mesafenin (ve PON uzunluklarının) doğru ölçülmesine bağlıdır. PON uzunlukları belirlenirken test aracı yavaş hızlarda taka yaklaşırken kameranın plakayı hangi noktada okumaya başladığı ve sonlandırdığı, merkezdeki bir gözlemci ile koordineli bir şekilde gerçek zamanlı telefon bağlantısı ile tespit edilmektedir [16]. Bu mesafelerin sahada ölçülmesi değişik yöntemlerle olabilir (Bölüm 2). Her bir yöntem kendi içerisinde bir hata potansiyeli içerebilmektedir. Bu mesafenin yanlışlıkla fazla ölçülmesi, ortalama hızı gerçek değerinden daha yüksek gösterecek bu da sürücü aleyhine olan bir durum olarak itiraza delil teşkil edecektir. Özellikle kısa koridorlarda veya 'Emniyet Şeridi İhlal Tespit' sistemlerindeki gibi giriş ve çıkış kameraları arası mesafenin 70 metrelere kadar düştüğü uygulamalarda bu parametre çok daha kritik olmaktadır.

Mesafenin sehven az ölçülmesi durumunda $d_e / (t_2 - t_1)$ kesrinde 'payda' aynı ancak 'pay' olması gerekenden küçük olacağından, hesaplanan ortalama hız, olması gerekenden daha az zannedilecektir. Benzer şekilde, mesafenin yanlışlıkla fazla ölçülmesi durumunda $d_e / (t_2 - t_1)$ kesrinde 'payda' aynı ama 'pay' olması gerekenden büyük olacağından, hesaplanan ortalama hız, olması gerekenden daha büyük zannedilecektir. Bu noktadan hareketle, sistemin mesafe ölçümünde barındırabileceği hata oranları bilinmeli ve en kötü senaryo dikkate alınmalıdır. En kötü senaryo, bir koridordan geçen taşıt sürücüsünün aldığı cezaya itiraz etmesi durumunda, "söz konusu kesirdeki mesafenin gerçektekinden daha büyük ölçüldüğü ve bu kişinin hızının yanlışlıkla yasa ile belirlenen eşik değerinden yüksek çıktığı" iddiasıdır.

Doğrulaması yapılan bir sisteme ait gerçek zamanın tam doğru olduğunu kabul ederek, sahada ölçülen koridora ait herhangi bir uzunluğun (taklar arası mesafe veya efektif uzunluk) hata içermesi durumunda Bölüm 1.2’de verilen (2) numaralı denklemden hesaplanan ortalama hız (v_{ort}) değeri de

hatalı olacaktır. Bu denklemdeki de mesafesinin hatalı ölçülmesinin nedenleri değişik ihtimallerin birinden ya da birkaçından kaynaklanabilmektedir. Mesafenin yanlış okunması durumunda hıza yansıyan hata Şekil 4’te özetlenmektedir.



Şekil 4. Gerçekte 50, 70 ve 110 km/sa hızla giden araçların zannedilen hızları (Speeds read off in error while the real vehicular speeds are 50, 70 and 110 km/h)

Bu abaklarda ilk önce x ekseninde mesafenin ne kadar hata ile gerçektekinden fazla okunduğu işaretlenmeli, daha sonra doğrulaması yapılan koridor uzunluğuna en yakın eğri kestirilmeli ve son olarak da y ekseninden hızdaki hata okunmalıdır.

20 metreden daha büyük hatalar için veya şekilde verilen 3 farklı hız sınırından daha farklı hız sınırları için doğrulayıcı gerekirse kendi abağını kendisi üretebilir. Bunun için yapılması gereken, hız limitinde hareket etmekte olan bir aracın gerçek koridor uzunluğunu kat edeceği sürede bu aracın daha uzun bir mesafeyi kat ettiği yansımasının yol açtığı gerçektekinden daha yüksek bir hızın hesaplanmasından ibarettir.

Bir sonraki bölümde, koridor içerisinde aliymandan başka bir de yatay kurp bulunması halleri incelenecek ve benzeri hata abakları üretilecektir.

3.2. Zaman Parametresi (Time Parameter)

Zaman parametresine göre sistemde kullanılan kameraların doğru çalışması ve belirli aralıklarla merkezi bir referans saatten güncelleme yapıyor olması gerekmektedir ki günümüz teknolojisi ile bu son derece hassas bir şekilde (nanosaniye mertebesinde) icra edilmektedir. Zaman eşitleme aracı olarak NTP (Network Time Server) kullanılması durumunda saha noktaları, sistemlerin bağlı bulunduğu merkezde kurulu olan NTP sunucusu ile haberleşerek sahip olduğu tarih ve zaman değeri için talepte bulunurlar. NTP sunucusuna iletilen talebe yanıt olarak, sunucunun tarih ve zaman değeri, ilgili saha noktasına gönderilir. Alınan tarih ve zaman değeri sistem zamanı olarak ayarlanır. Zaman eşitleme aracı olarak GPS kullanılması durumunda saha noktaları üzerinde bulunan GPS alıcı üzerinden sürekli olarak GPS uydusunun tarih ve zaman değerlerini alırlar. Uydudan alınan değer evrensel olduğu için ilgili bilgi yerel tarih saat bilgisine dönüştürülür. Sistem alınan tarih saat bilgisine göre kendi tarih saat bilgisini ayarlar. Koridor giriş ve çıkış

noktaları arasında eşitlenmiş zaman ile haberleşme koridoru oluşturan giriş ve çıkış noktalarının aynı eşitleme aracı ile zaman eşitlemesi yapıyor olması çok büyük önem arz ettiği için sistemi oluşturan giriş veya çıkış noktalarından birinin eşitleme aracı ile bağlantısının kopması zaman bilgisi farklılıklarına yol açacağı muhakkaktır. Bu nedenle noktaların aynı zaman bilgisine sahip olabilmesi için uygulama NTP ve GPS ile yapılan zaman eşitlemeleri için birbirinden farklı listeler tutar. Farklı olarak tutulan bu listelerde noktadan geçen araçların plaka, tarih ve saat bilgileri bulunur. Böylelikle sistemlerin arıza veya istenmeyen durumlarda kapalı kalması halinde bile eşitleme yapılan eşitleme aracı ve noktalardan geçen araçların bilgileri saklanmış olur. Herhangi bir nedenden ötürü zaman eşitleme aracı ile haberleşme koptuğunda giriş ve çıkış taklarının bağlantılarında bir sorun olmasa dahi, ilgili listelerde herhangi bir işlem gerçekleşmediğinden dolayı saha noktalarından geçen araçlar değerlendirmeye alınmaz [20].

3.3. Kamera Okumaları (Camera Readings)

Kameralarla yapılan plaka okumalarının mümkün olduğunca eksiksiz ve doğru yapılması gerekmektedir. Geçen tüm araçlar üzerinden plaka yakalama oranı en az %70, doğru plaka yakalama oranı ise en az %95'tir [21]. Bu doğrulamanın yapılabilmesi için her bir kamera noktasından yeterli miktarda geçiş yapılması ve bu geçişlerin kamera kayıtlarından elde edilen plaka okuma raporlarıyla kıyaslanarak bir yüzde belirlenmesi gerekmektedir. El ile yapılan bu kontroldeki geçiş sayısı ne kadar fazla olursa hata payı da o kadar az olacaktır. Örneklem büyüklüğü için, arzu edilen bir standart sapma ve hata değerine karşılık gelen istatistiksel bir formül de kullanılabilir.

4. YATAY KURP İÇEREN KORİDORLAR (CORRIDORS COMPRISING HORIZONTAL CURVES)

4.1. Basit ve Birleşik Kurplar (Simple and Compound Curves)

Koridor içerisinde yatay kurp olması halinde, ölçülen koridor uzunluğu platformun solunda ve sağında farklı çıkacaktır. Örneğin, tek kurp içeren bir koridorda (Şekil 5) hareket istikametine göre saat yönünün tersinde bir kurp varsa koridor banket tarafında daha uzun, refüj tarafında ise daha kısa olacaktır.

Bu durumda (sahadaki uzunluk ölçümleri eğer banket çizgisinde yapılmış ise) koridor uzunluğu, dış

(en sol) şeritten giden sürücülerin aleyhine olacak şekilde formüle girecektir. Eğer koridor uzunluğu projedeki 'eksen hattı' boyunca (refüjden) tespit edilmiş ise, bu kez de iç (en sağ) şeritten giden sürücünün aleyhine bir durum doğacaktır.

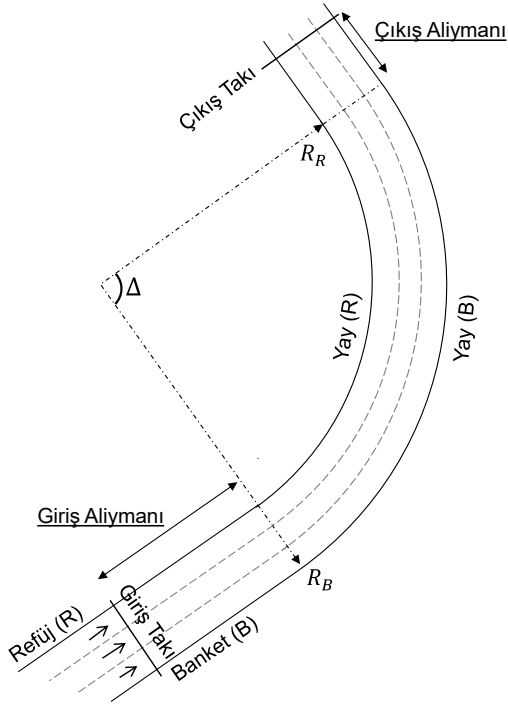
Örneğin, 3,5 m'lik şerit genişliği için banket ve refüj kenarlarına ait yarıçaplar sırasıyla $R_B = 100$ m ve $R_R = 100 - (3 \times 3,5) = 89,50$ m olsun. Bu durumda şeritleri ortalamayan bir araç dış şerit (bankete yakın olan) için $100 - 3,5 \cdot 0,5 = 98,25$ m ve iç şerit (refüje yakın olan) için $89,5 + 3,5 \cdot 0,5 = 91,25$ m yarıçapları hareketini gerçekleştirecektir. Rakordmansız bu kurbun aliyman kolları arasındaki sapma açısı da $\Delta = 90^\circ$ ise, platformun banket ve refüj kenarları arasındaki yay uzunluğu farkı:

$$\text{Yay (B) uzunluğu} = \frac{2\pi 98,25}{360} 90 = 154,3 \text{ m}$$

$$\text{Yay (R) uzunluğu} = \frac{2\pi 91,25}{360} 90 = 143,3 \text{ m}$$

yaklaşık olarak 11 m çıkacaktır ($154,3 - 143,3 = 11$ m). Toplam koridor uzunluğu da dolayısı ile banket tarafında: $\Sigma d = \text{Aliymanlar} + 154,3$ m ve refüj tarafında ise: $\Sigma d = \text{Aliymanlar} + 143,3$ m olacaktır.

Bu yolda ortalama hız sınırı 70 km/sa ve koridor uzunluğu banket çizgisinde 300 m ölçülmüş olsun. Gerçekte tam 70 km/sa hızla refüje yakın kenardan gitmekte olan bir aracın hızı sehven (Şekil 4'teki abak kullanılarak) 72,5 km/sa zannedilecektir.



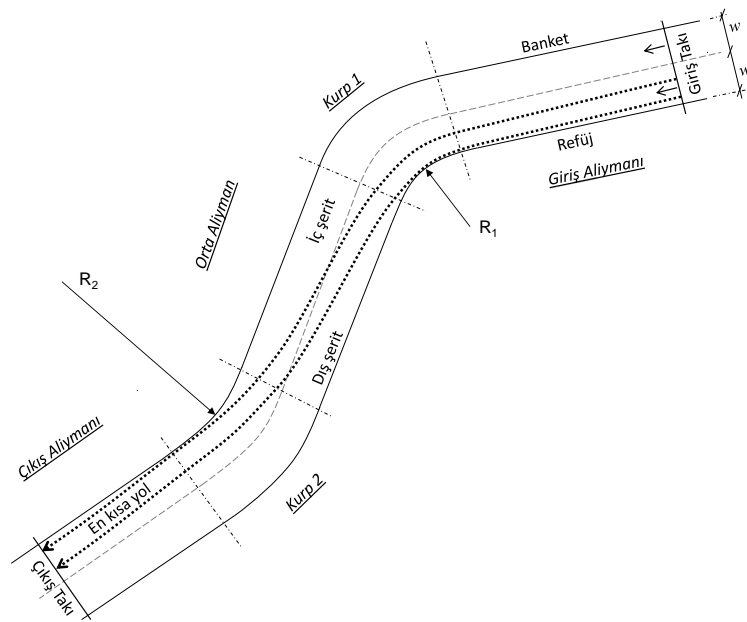
Şekil 5. Yatay kurpların koridor uzunluğuna etkisi (The effect of horizontal curvature on corridor lengths)

Şerit sayısı, kurp uzunluğu ve sapma açısının artması, koridor toplam uzunluğunun ise kısalması durumlarında bu hata daha da büyüyecektir. Ayrıca koridorun aynı yönde dönen birden fazla kurp (veya birleşik kurp) içermesi durumunda da bu hata yine büyüyecektir.

4.2. Ters Kurplar (Reverse Curves)

Uzunluk ölçümünün banket tarafından mı yoksa refüj tarafından mı yapıldığına bağlı olarak kurp bölgesinde birbirinden farklı çıkan uzunlukların yukarıda anlatılan hataları barındırmasından başka, sürücü itirazlarına yol açabilecek bir diğer durum da koridor içerisinde ters kurp bulunması halinde bu kurpların sürücüler tarafından 'kullanımı' ile ilgilidir. Pratikte bilinmektedir ki birçok sürücü, kurp içerisindeki yanal ivmenin tesirini azaltmak için halk arasında 'virajı dardan alma' olarak bilinen (corner-cutting) alışkanlığına sahiptirler. Bu tür şerit değiştirmeler kat edilen mesafenin de küçülmesine yol açar. Böyle bir aracın giriş ve çıkış taklarında okunan zamanlar arasında kat ettiği mesafe, bu aracın hep şeridinde kaldığı yanılgısıyla (ama gerçekte sürücü kurpları hep dardan almış ise) gerçekteki uzunluktan daha büyük zannedilecektir. Dolayısıyla bu araca ait hesaplanan ortalama hız da gerçektekinden daha yüksek çıkacaktır. Şekil 6'da iki şeritli ve Şekil 7'de de üç şeritli bir yol için bu durum gösterilmektedir.

Şeridinde giden bir araç ile yolu kısaltmak niyetiyle şerit değiştiren bir aracın kat ettikleri mesafelerin kıyaslanabilmesi için şöyle bir model geliştirilebilir. Orta aliymanı olan ve sadece bir çift ters kurp içeren bir koridor düşünülün (Şekil 6). Ayrıca 1 numaralı kurba ait yarıçap, 2 numaralı kurba ait yarıçaptan küçük olsun ($R_1 < R_2$). Bu durumda;



Şekil 6. İki şeritli ve ters kurp içeren bir koridorda en kısa yola ait tekerlek izi (The shortest wheel path of a two-lane corridor with a reverse curve)

(i) Sürekli iç şeritte ilerleyen bir aracın koridor içerisinde kat ettiği toplam mesafe ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(i) &= \\ & \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_1 + w + \frac{w}{2} \right) + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_2 + w) \\ &= \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + 2w) \end{aligned}$$

(ii) Sürekli dış şeritte ilerleyen bir aracın koridor içerisinde kat ettiği toplam mesafe ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(ii) &= \\ & \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + w) + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_2 + w + \frac{w}{2} \right) \\ &= \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + 2w) \end{aligned}$$

(iii) ‘Bencil’ şerit değiştiren (Şekil 6’daki tekerlek izine sahip) bir araç ise her iki kurbu da dardan alacağından koridor içerisinde kat ettiği toplam mesafe ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(iii) &\cong \\ & \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + w) + \sqrt{(\text{Orta Aliy.})^2 + w^2} \\ & \quad + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_2 + \frac{w}{2} \right) \\ & \quad + \text{Giriş Aliy.} + \text{Çıkış Aliy.} \\ &\cong \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + 2w) + \sqrt{(\text{Orta Aliy.})^2 + w^2} \\ & \quad + \text{Giriş Aliy.} + \text{Çıkış Aliy.} \end{aligned}$$

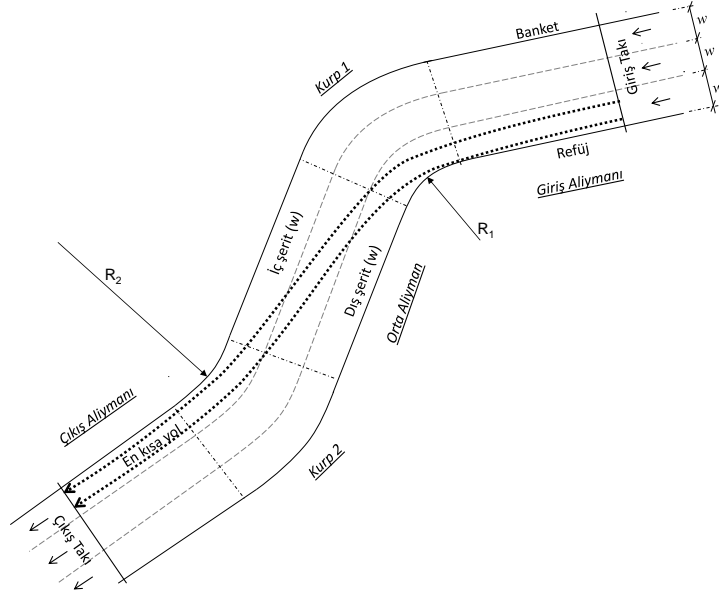
olacaktır. Buradan $d(iii) < d(i) = d(ii)$ olduğu çıkmaktadır.

Modeli gereksiz detaydan kurtarmak adına şöyle bir kabul yaparak, problem daha da basite indirgenebilir: (i) ve (ii) araçları orta aliymanı düz geçerken, (iii) aracı bu aliymanı (oluşan üçgenin hipotenüsünden) diyagonal geçmektedir. Ancak aliyman uzunluğunun yanında sadece bir şerit genişliği (w) kadar olan bu yanal kayma ihmal edilebilir. Dolayısıyla bu kabule göre (iii) aracı ile diğer iki araç arasındaki tek fark (iii) aracının her iki kurbu da dardan alması olur. (i) ve (ii) araçları ise sadece tek bir kurbu dardan almaktadırlar. Böyle bir koridorda kendisine atfedilen hız değerine itiraz eden bir sürücünün iki tak arasını (verilen sabit bir $t_2 - t_1$ zaman diliminde) kat edebileceği en kısa mesafe, olsa olsa ($\Delta_1 = \Delta_2$ özel durumu için):

$$\begin{aligned} d(iii) &\cong \\ & \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_1 + \frac{w}{2} \right) + \frac{2\pi\Delta}{360} \left(R_2 + \frac{w}{2} \right) \\ &\cong \text{Aliymanlar} + \frac{2\pi\Delta}{360} (R_1 + R_2 + w) \quad (3) \end{aligned}$$

kadar olacaktır. Burada doğrulama işlemini yapan akademisyenin (ya da bilirkişinin) kendisine sunulan (resmiyetteki) koridor uzunluğunu (2) denklemindeki değere düşürmesi ve yeni bir hız hesaplaması gerekmektedir. Böylelikle sürücü aleyhine doğabilecek en uç ihtimal bile bertaraf edilmiş olacaktır.

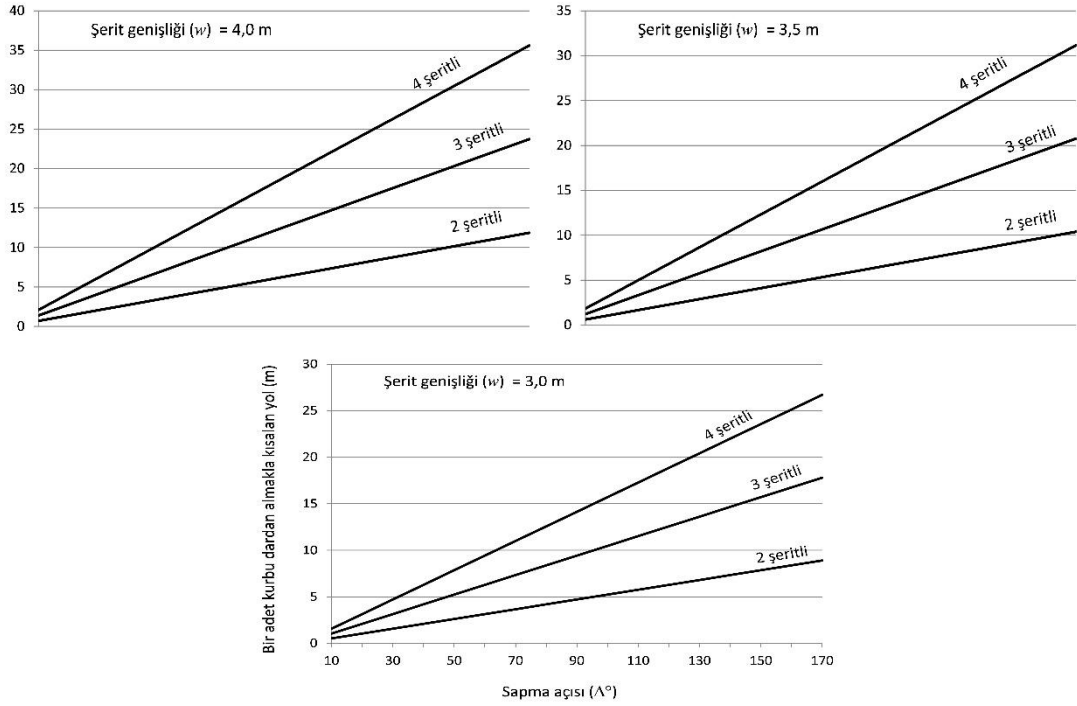
(3) numaralı denklem gerekirse üç (Şekil 7) veya daha fazla şeritli yollar için de kullanılabilir. Sadece dikkat edilmesi gereken, şerit genişliği (w) ekleme ve çıkarmalarında şerit sayılarının hesaba katılmasından ibarettir.



Şekil 7. Üç şeritli ve ters kurp içeren bir koridorda en kısa yola ait tekerlek izi (The shortest wheel path of a three-lane corridor with a reverse curve)

Doğrulama işleminde kolaylık olması bakımından, (hepsi de aynı istikamette akan) 2, 3 ve 4 şeritli yollar için aşağıdaki abaklar üretilmiştir (Şekil 8). Bu abaklarda ilk önce x ekseninde kurba ait sapma açısı

seçilir daha sonra ilgili eğri kestirilir ve y ekseninden (bir kurbun dardan alınması ile) meydana gelecek yol kısalma miktarı okunur.



Şekil 8. Bir kurbun dış şerit yerine iç şeritten alınması halinde yol uzunluğundaki kısalma (Reduced length of the travel path when corner cutting takes place from the outside lane toward the inside lane)

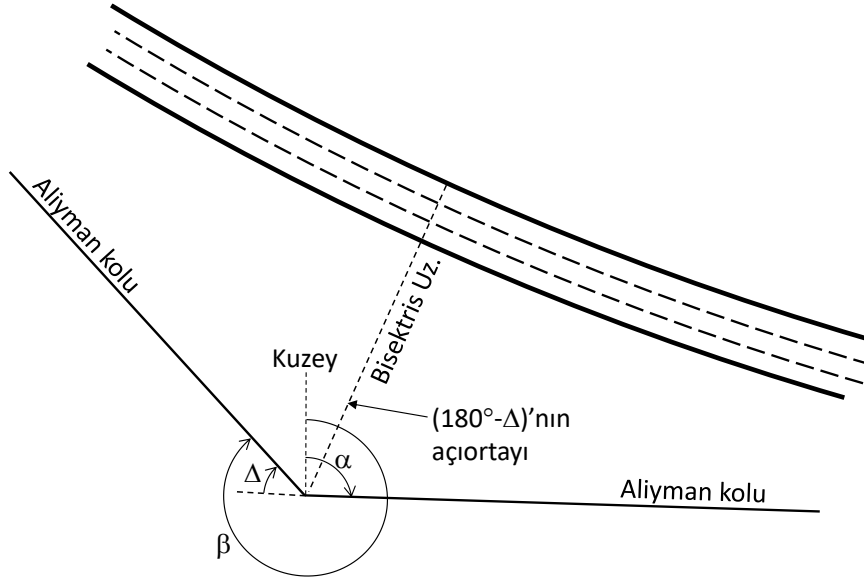
4.3. Basit ve Ters Kurplara Ait Yarıçapların Temini (Obtaining the Radii for Simple and Compound Curves)

Yukarıdaki formüllerde geçen R yarıçapının temini gerçek hayatta kolay olmayabilir. Şöyle ki, pratikte (yolun ölçekli bir projesi hazırda mevcut değilse) karp yarıçapları çoğu kez bilinemez. Harita üzerinden yarıçap okumak da oldukça zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Onun yerine yatay kurba ait aliyman kolları arasındaki Δ sapma açısını harita üzerinden okumak ise çok daha kolaydır. Bu iki aliyman kolunun kesişim noktasından karp yayına olan (lineer) bisektris uzunluğu da kolaylıkla ölçülebilir. Örneğin Şekil 9'da görülen karp üzerine Google Earth Pro programında yerleştirilen kollar arası sapma açısı ve bisektris uzunluğu programın cetvel arayüzü kullanılarak okunabilir. Bu programa ait bu sanal cetvel arayüzündeki "Yön" bilgisi Kuzey'den itibaren saat yönünde derece cinsinden açıyı vermektedir.

Dolayısı ile iki kol arasındaki sapma açısı: $\Delta = \beta - \alpha - 180^\circ$ formülünden kolaylıkla bulunur (Şekil 10).



Şekil 9. Yarıçapı bilinmeyen bir yatay kurba ait bisektris uzunluğunun ve açısının Google Earth Pro programı üzerinden okunması (Reading the external distance and the deflection angle of a horizontal curve from Google Earth Pro where the radius is unknown)



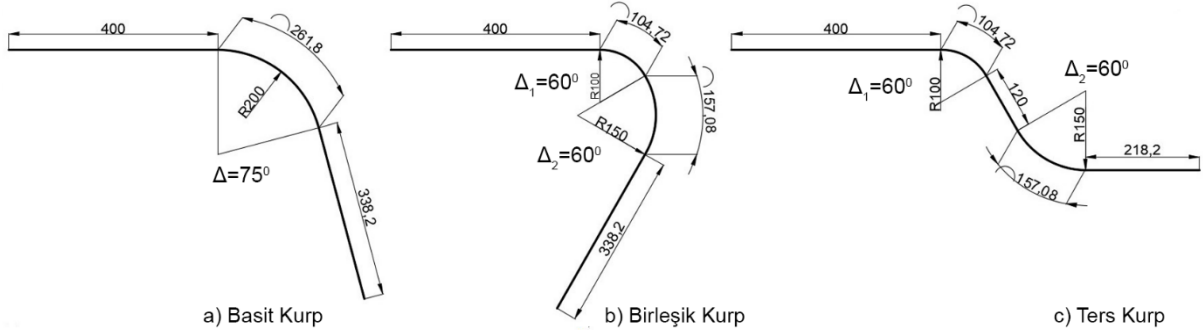
Şekil 10. Google Earth Pro programında kolaylıkla okunabilen ' α ' ve ' β ' açılarından ' Δ ' açısının hesaplanması, $\Delta = \beta - \alpha - 180^\circ$ (The calculation of the ' Δ ' angle from the ' α ' and ' β ' angles that are easily read from Google Earth Pro)

Daha sonra da aşağıdaki denklem kullanılarak yarıçap hesaplanabilmektedir ($\sec = 1/\cos$).

$$R = \frac{\text{Bisektris Uzunluğu}}{\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1} \quad (4)$$

4.4. Basit, Birleşik ve Ters Kurplara Ait Bir Uygulama (A Demonstration on Simple, Compound and Reversing Curves)

Kurpların ortalama hıza etkisini inceleyebilmek için Şekil 11'de görülen toplam karp uzunlukları ve güzergâh uzunlukları birbirine eşit 3 farklı örnek oluşturulmuştur. Tablo 1'de bu kurplara ait detaylar verilmiştir.



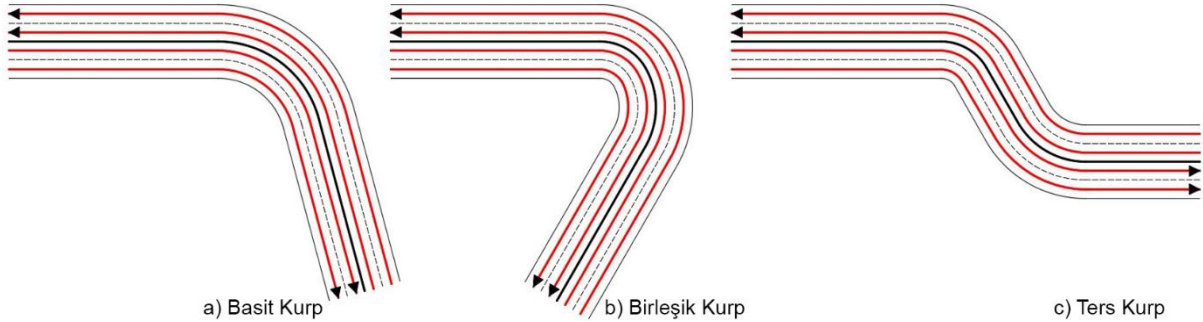
Şekil 11. a) Basit karp, b) Birleşik karp ve c) Ters Karp (a) Simple Curve, b) Compound Curve and c) Reversing Curves)

Tablo 1. Kurplara ait detaylar (Curve properties)

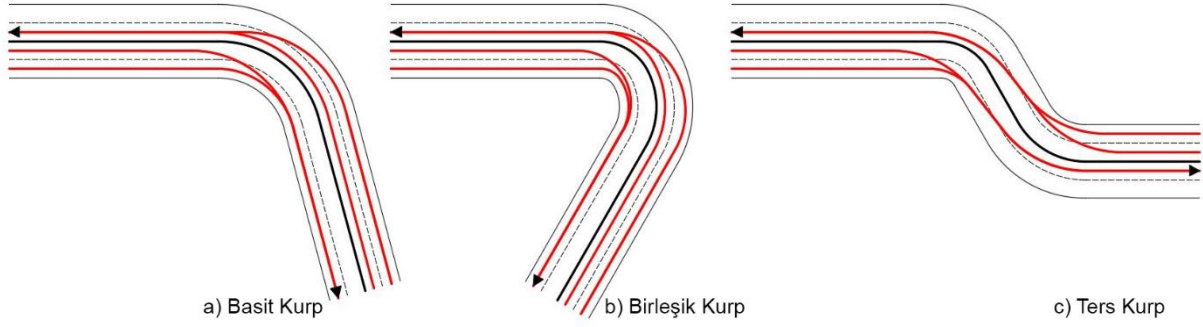
	Basit Karp	Birleşik Karp	Ters Karp
1. Aliyman	400,00m	400,00m	400,00m
1. Karp	D=261,80m; R=200m; $\Delta=75^\circ$	D=104,72m; R=100m; $\Delta=60^\circ$	D=104,72m; R=100m; $\Delta=60^\circ$
2. Aliyman	338,20m	338,20m	120,00m
2. Karp	-	D=157,08m; R=150m; $\Delta=60^\circ$	D=157,08m; R=150m; $\Delta=60^\circ$
3. Aliyman	-	-	218,20m
Σ Aliyman	738,20m	738,20m	738,20m
Σ Karp	261,80m	261,80m	261,80m
Σ Güzergâh	1000,00m	1000,00m	1000,00m

Şekil 11'de verilen güzergahlardan şerit genişliği 3,5m olan, toplam 4 şeritli ve iki yönlü platformlar elde edilmiştir. Bu platformlarda araçların şeritleri ortalarak hareket ettiği varsayımıyla araç izleri Şekil 12'de gösterilmiştir. Burada her aracın yolculuk boyunca şerit değiştirmedeği durum incelenmiştir. Şekil 13'te ise aynı platformlar üzerinde her bir şeritte

hareket eden aracın güzergahta en kısa yolu seçmesi durumu incelenmiştir. Şekil 12 ve Şekil 13'teki her bir yolculuk için kat edilen mesafeler Tablo 2'de verilmiştir. Şekillerde en üstte bulunan araç izi 1, en altta bulunan ise 4 numaralı araç izi olarak, diğerleri ise sırasıyla 2 ve 3 olarak adlandırılmıştır.



Şekil 12. Araçların şerit değiştirmeme durumları (Vehicles not changing lanes)



Şekil 13. Araçların en kısa mesafeyi seçme durumları (Vehicles choosing the shortest path)

Tablo 2. Araç izlerinden elde edilen yolculuk mesafeleri (Travel path lengths derived from wheeltracks)

Araç İzi	Şekil 12			Şekil 13		
	Basit Kurp (m)	Birleşik Kurp (m)	Ters Kurp (m)	Basit Kurp (m)	Birleşik Kurp (m)	Ters Kurp (m)
1	1068,72	1109,96	1000,00	1053,71	1087,00	961,95
2	1022,91	1036,65	1000,00	1022,91	1036,65	978,87
3	977,09	963,35	1000,00	946,29	913,00	979,07
4	931,28	890,04	1000,00	931,28	890,04	968,79

Şekil 12. Araçların şerit değiştirmeme durumları (Vehicles not changing lanes) Şekil 12'de oluşan araç izlerine göre ortalama hız hesabında Tablo 2'de görülen mesafelerin dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 11'deki tasarıma göre güzergâh mesafelerinin 1000 m alınması durumunda hesaplanan hızların bazıları daha az bazıları ise daha fazla çıkacaktır. Bir

Tablo 3'teki gibi çıkacaktır. Şekil 12'deki gibi araçların hiç şerit değiştirmedeği düşünülürse bile kurplarda oluşan mesafe farklılıkları, hız sınırının aşıldığı algısını yaratmaya yetmektedir. Dolayısıyla araçların yanlışlıkla %33'üne hız cezası uygulanacaktır. Şekil 13'teki gibi araçların güzergâh üzerinde en kısa yollardan hareket etme isteği göz

araç 50 km/sa sabit bir hızla 1000 metre uzunluğundaki bir güzergâhı 72 saniyede kat edecektir. Şekil 12 ve Şekil 13'teki araçların 50 km/sa sabit hızla hareket etmeleri durumunda ise eğer 1000 m'lik bir yol kat ettikleri kabul edilirse farklı yolculuk süreleri ortaya çıkacak ve bu süreler üzerinden yapılacak hesapla hızlar

önüne alındığında ise bu oranın %67'ye kadar çıkabileceği görülmektedir. Her ne kadar hız sınırına ait %10'luk bir tolerans bulunsa da bunu sürücüler de bildiği için araç hızlarını bu toleransa göre arttırmaları söz konusudur. Bu durumda gerçek hızın ve ölçülen hızın tutarlılığı önem kazanmaktadır.

Tablo 3. Araçların gerçek hızları (Actual speeds of vehicles)

Araç İzi	Şekil 12			Şekil 13		
	Basit Kurp (km/sa)	Birleşik Kurp (km/sa)	Ters Kurp (km/sa)	Basit Kurp (km/sa)	Birleşik Kurp (km/sa)	Ters Kurp (km/sa)
1	46,8	45,0	50,0	47,5	46,0	52,0
2	48,9	48,2	50,0	48,9	48,2	51,1
3	51,2	51,9	50,0	52,8	54,8	51,1
4	53,7	56,2	50,0	53,7	56,2	51,6

Kimseye hak etmediği bir ceza yazılmaması durumunun güvenli taraf olduğu varsayımıyla eğer kameralar şeritlere göre okuma yapmıyorsa 1 ve 2

numaralı araçların bulunduğu bölgede mesafe 961,95 m; 3 ve 4 numaralı araçların bulunduğu bölgede ise 890,04 m olarak alınmalıdır.

5. BOYUNA EĞİMLİ YOLLAR (ROADS WITH LONGITUDINAL SLOPES)

Yolun %*s* kadar sabit bir boyuna eğim içermesi durumunda, koridorun planda okunan *d* uzunluğu gerçekte

$$\sqrt{\left(d \frac{s}{100}\right)^2 + d^2}$$

olacaktır. Ancak bu fark oldukça küçüktür. Örneğin %10 sabit eğim içeren ve planda 1000 m uzunluğa sahip bir koridorun gerçek uzunluğu $\sqrt{(1000 \times 0,1)^2 + 1000^2} = 1005 \text{ m}$ olacaktır. Bu da hız sınırının 110 km/sa olduğu bir yolda bile 1,0 km/sa'ten daha küçük bir hata anlamına gelmektedir (Bkz. Şekil 4).

Aslında böyle yollarda dikkat edilmesi gereken husus, sistemin boyuna eğimden kaynaklanan böyle bir hata payı içeriyor olmasından ziyade, boyuna eğimin araçlardaki hız sabitleyicilerini etkiliyor olmasıdır. Yeni kurulan bir sistemin doğru çalışıp çalışmadığını anlamak için ilk etapta, iki nokta arasında bir test aracının sabit bir hızda sürülerek kontrol edilmesi pratikte sıkça başvuru bir yöntemdir. Ancak bu yöntem böyle bir yolda en az iki adet hata kaynağı içermektedir:

(a) Yolun boyuna eğiminden dolayı hız sabitleyici aracı hep aynı hızda tutamaz.

(b) Aracın hız göstergesi zaten (boyuna eğimsiz yollarda bile) gerçek hızı yansıtmaz. Araç üreticileri güvenli tarafta kalmak için genelde kadrana yansıtıkları anlık hızı 4-6 km/sa fazla gösterirler.

Dolayısı ile yeni kurulan bir sistemin kabaca test edilmesi bu yöntemle mümkün olsa bile, kesin kontroller yazımızın daha önceki bölümlerinde anlatılan teknikler kullanılarak gerçekleştirilmelidir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Aşırı hızdan kaynaklanan kazaları azaltabilmek ve yol güvenliğini daha da etkili bir şekilde arttırabilmek adına hayata geçirilen ortalama hız sınırı uygulamaları birçok ülke için nispeten yenidir ancak hızla yaygınlaşmaktadır. Anlık hız ölçen radar türü cihazlardan farklı olarak bu sistemlerde zaman senkronizasyonu ve kameralar arası mesafelerin hatasız ölçülmesi 'olmazsa olmaz' şartlardandır. Ancak bu koşulların ve özellikle de efektif uzunluk parametresinin ölçülmesinde oluşabilecek hatalı okumaların sistem doğruluğu üzerindeki rolü şu ana

kadar yeterince çalışılmamış bir konudur. Bu teknik notta ilk önce mesafe ölçüm teknikleri tanıtılmış, avantaj ve dezavantajları hassaslıklarıyla birlikte verilmiştir. Daha sonra da koridor içerisinde yatay kurp olması gibi özel durumlarda sürücüler aleyhine oluşabilecek durumlar ve hata payları hesaplanmıştır. Çalışma ile yatay kurplarda hareket eden araçların tasarım uzunluğundan farklı mesafeler kat etmesi, bir örnek üzerinden açıklanmıştır. Bu örnekte hesaplanan farklı mesafeler efektif uzunluk hesabında göz ardı edilirse ortaya hatalı trafik cezalarının yazılması gibi istenmeyen durumlar çıkacaktır. Dolayısıyla hem ceza kesen hem de cezaya muhatap olan tarafın bir mağduriyet yaşamaması için efektif mesafe doğrulamalarının çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Kaleme alınan bu çalışma, ortalama hız ihlal tespit sistemlerinin kontrol ve doğrulamasını yapan uzmanlar için bir kaynak eser olma özelliği taşımaktadır.

SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

ANPR	: Automatic Number Plate Recognition
cos	: Kosinüs
<i>d</i>	: Taklar arası uzunluk
<i>d_e</i>	: Koridor efektif uzunluğu
GPS	: Global Positioning System
<i>km</i>	: Kilometre
<i>m</i>	: Metre
NTP	: Network Time Server
PON(ç)	: Koridorun çıkış takı için plaka okuma noktası
PON(g)	: Koridorun giriş takı için plaka okuma noktası
<i>R</i>	: Yatay kurp yarıçapı
<i>R_B</i>	: Banket çizgisinde yatay kurp yarıçapı
<i>R_R</i>	: Refüj çizgisinde yatay kurp yarıçapı
sec	: Sekant
<i>t</i>	: Zaman
<i>s</i>	: Yolun boyuna eğimi
<i>v</i>	: Hız
<i>v_{ort}</i>	: Ortalama hız
<i>w</i>	: Şerit genişliği
<i>x₁, y₁</i>	: Giriş-Çıkış takındaki kameranın koordinatı
Δ	: Yatay kurp sapma açısı
ℓ	: Tekerlek ile ölçülen uzunluk
$\delta\ell$: Tekerlek ile ölçülen uzunluktan çıkartılması gereken mesafe

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Saha çalışmalarımız sırasında her türlü desteği esirgemeyen İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSBAK A.Ş., Konya Emniyet Müdürlüğü, Konya Büyükşehir Belediyesi, FİDELİTUS A.Ş., Gaziantep Büyükşehir Belediyesi ve Kayseri Ulaşım A.Ş. yetkililerine teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca, bu çalışmalarda Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Trafik Laboratuvarının imkânları da kullanılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] L. Aarts and I. Van Schagen, "Driving speed and the risk of road crashes: A review," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 38, no. 2, pp. 215-224, March 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.07.004>
- [2] D. W. Soole, B. C. Watson, and J. J. Fleiter, "Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: A review of the literature," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 54, pp. 46-56, May 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.01.018>
- [3] TÜİK, "Trafik Kaza İstatistikleri," 2019.
- [4] J. Jun, R. Guensler, and J. Ogle, "Differences in observed speed patterns between crash-involved and crash-not-involved drivers: Application of in-vehicle monitoring technology," *Transportation research part C: emerging technologies*, vol. 19, no. 4, pp. 569-578, August 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.09.005>
- [5] A. P. Akgüngör and E. Doğan, "An artificial intelligent approach to traffic accident estimation: Model development and application," *Transport*, vol. 24, no. 2, pp. 135-142, April 2009. Doi: <https://doi.org/10.3846/1648-4142.2009.24.135-142>
- [6] B. Günay, "Using automatic number plate recognition technology to observe drivers' headway preferences," *Journal of advanced transportation*, vol. 46, no. 4, pp. 305-317, June 2012. Doi: <https://doi.org/10.1002/atr.1197>
- [7] E. De Pauw, S. Daniels, T. Brijs, E. Hermans, and G. Wets, "Automated section speed control on motorways: An evaluation of the effect on driving speed," *Accident analysis & prevention*, vol. 73, pp. 313-322, December 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.09.005>
- [8] C. Goldenbeld and I. van Schagen, "The effects of speed enforcement with mobile radar on speed and accidents: An evaluation study on rural roads in the Dutch province Friesland," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 37, no. 6, pp. 1135-1144, November 2005. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.06.011>
- [9] A. Montella, V. Punzo, S. Chiaradonna, F. Mauriello, and M. Montanino, "Point-to-point speed enforcement systems: Speed limits design criteria and analysis of drivers' compliance," *Transportation research part C: emerging technologies*, vol. 53, pp. 1-18, April 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.01.025>
- [10] N. İ. Süt, M. Hamurcu, and E. Tamer, "Kampüste yeşil ulaşım uygulaması: Ring araçlarının seçimi için bir karar verme süreci," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, vol. 5, no. 1, pp. 9-21, March 2019. Doi: <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.01.02>
- [11] B. Günay, M. Saltan, A. Ilgaz, and Y. Albayrak, "Area-wide ANPR coverage with a small number of instrumented vehicles," in *2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), June 3-5, 2015, Budapest, Hungary* 2015: IEEE, pp. 379-386.
- [12] M. Borsati, M. Cascarano, and F. Bazzana, "On the impact of average speed enforcement systems in reducing highway accidents: Evidence from the Italian Safety Tutor," *Economics of Transportation*, vol. 20, p. 100123, December 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.100123>
- [13] L. Jateikienė and A. Vaitkus, "Average speed enforcement system efficiency assessment model," *Baltic journal of road and bridge engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 64-69, July 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2017.08>
- [14] TÜBİTAK, "Ulusal Metroloji Enstitüsünün 12/12/2013 tarih ve 231202 sayılı raporu," 2013.
- [15] B. Günay, "Konya Kenti EDS Sistemleri Doğrulama Raporu," Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Döner Sermaye Teknik Raporu, Antalya, 2013.
- [16] B. Günay, "İstanbul Kenti EDS Sistemleri Doğrulama Raporu," Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Döner Sermaye Teknik Raporu, Antalya, 2016.
- [17] C. Robusto, "The cosine-haversine formula," *American Mathematical Monthly*. Oxfordshire, England: Taylor & Francis, 1957, pp. 38-40.

- [18] B. F. Kavanagh and S. Bird, *Surveying: Principles and applications* (no. 526.9 K21s). New Jersey, US: Prentice-Hall, 1992.
- [19] J. C. McCormac, W. Sarasua, and W. J. Davis, *Surveying*. John Wiley & Sons, 2004.
- [20] A. Taçgın, "İSBAK AŞ. Bilgisayar Yüksek Mühendisi," ed: (Kişisel İletişim), 2016.
- [21] *2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun Ek 16'ncı Maddesinin Uygulanmasına İlişkin Usul ve Esaslar*, 2918 - 15, 1983.

Banihan GÜNAY

Yazar lisans öncesi eğitimini Antalya'da, lisans öğrenimini de Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladı (1991). Daha sonra İstanbul Teknik ve İngiltere Newcastle Üniversitelerinde Ulaştırma Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimi aldı. Doktorasını yine aynı Anabilim Dalında yaptı (University of Newcastle upon Tyne, 2000). Daha sonra K. İrlanda Ulster Üniversitesinde Dr. Öğretim Üyesi olarak çalışmaya başladı. 2009 yılında Doçent oldu ve memleketi Antalya'ya dönerek Akdeniz Üniversitesinde göreve başladı. 2014 yılında Profesör olan B. Günay'ın sahasında birçok uluslararası makale, kitap, bildiri, proje ve ödülleri mevcuttur. Yazar daha sonra üniversiteden ayrılarak piyasada serbest mühendis/akademisyen olarak çalışmaya başlamıştır.

Kadir AKGÖL

Yazar Denizli'de doğdu. Lisans öncesi eğitimini Denizli'de; lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimini ise Akdeniz Üniversitesi, Antalya'da tamamladı. 2013 yılında Akdeniz Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2018 yılından itibaren ise Giresun Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir. Alanında uluslararası yayınları (makale, bildiri, kitap) bulunmaktadır. Ortalama hız koridorları konusunda birikimi olarak tecrübesi bulunmaktadır.