

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

Serhan TANYEL*
Nadir YAYLA**

ÖZ

Çalışmada, İzmir’de bulunan dört kavşağa ait gözlemlerden yararlanılarak, çok şeritli yuvarlakada kavşak kapasite hesap yöntemleri tartışılmıştır. İlk olarak, kapasite ve performans hesaplanmasında kullanılan iki yöntemden birisi olan kritik aralık kabul yöntemi üzerine bir inceleme yapılmış; ters öncelik ve aralık zorlama koşullarının etkisi tartışılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, regresyon analizi yöntemi üzerinde durulmuş; TRL yöntemi tanıtılarak uygulanabilirliği irdelenmiştir. Çalışmada ayrıca regresyon analizine dayalı yeni bir bağıntı önerilmiştir. Çalışmanın sonucunda kritik aralık kabul ile regresyon analizi yöntemleri karşılaştırılmış; her iki yönteminde kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmüş ancak daha fazla örnek üzerinde çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yuvarlakada kavşaklar, kapasite, kritik aralık kabulü yöntemi, regresyon analizi yöntemi

ABSTRACT

A Discussion on the Capacity of Rotary Intersections

In this study, capacity of multi-lane rotary intersections is discussed by using observations from four intersections in İzmir. Firstly, critical gap acceptance methods, especially gap forcing and reverse priority conditions are discussed. In the second part of the study, regression analysis methods, particularly TRL method, are introduced. A new capacity method which depends on regression analysis is also suggested. In the last part of the study, both methods are compared. As a result, both methods are found to be applicable but further research with increased number of observations is needed.

Keywords: Rotary intersections, capacity, critical gap acceptance method, regression analysis method

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 16.02.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - serhan.tanyel@deu.edu.tr

** İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - nyayla@ins.itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Kapasite, Drew [1] tarafından, hakim yol ve trafik koşulları altında yolun veya bir şeridin bir noktasından geçebilecek maksimum araç sayısı, olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, tek bir trafik akımı için tanımlayıcı olabilirse de, özellikle kavşaklarda görülen daha karmaşık durumlarda kapasiteyi etkileyici çeşitli unsurlarla da karşılaşılabilmektedir. Belirtilen karmaşık duruma gösterilebilecek en iyi örnek, aşağıdaki sınırlamalar sahip bir dönel kavşaktır:

1. Eğer giriş şeridi sayısı, dönüş şeridi sayısından daha fazla ise (örneğin girişte kısa dönüş şeridi varsa), dallanma noktasında bir şişe boynu oluşabilir;
2. Duruş çizgisi de kapasiteyi sınırlayan önemli unsurlardan biridir;
3. Örülme sahasının çok dar olması, ağır araçların zor manevra yapmalarına neden olabilir;
4. Kavşaktan çıkan araçların hareketleri, yaya trafiğiyle engellenebilir [2].

Dönel kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında iki temel yaklaşım kullanılmaktadır: a) Regresyon analizi yöntemi (ampirik veya geometrik yöntem); b) Kritik aralık kabul yöntemi (analitik veya davranışsal yöntem). Geometrik yöntem, zirve saatlerde dönel kavşağa giren ve kavşakta dönüş hareketini yapan araçlar arasındaki etkileşimi incelemektedir. Yöntemin uygulanmasında, regresyon parametre değerlerinin, bağlı geometrik parametrelerle ilişkilendirilmesine çalışılmaktadır. Bu geometrik parametrelere örnek olarak şerit sayısı, yuvarlak ada çapı, dönel kavşağa bağlanan kol sayısı, yaklaşımın giriş ve çıkış noktaları arasındaki mesafe, v.b. gösterilebilir. Davranışsal yöntemde ise kavşağın, geçiş hakkına sahip dairesel bir tek yönlü yola bağlanan T şeklinde kavşaklardan oluştuğu kabul edilmektedir. Bu, sürücü davranışına ve kritik aralık kabul teorilerine dayanan klasik kavşak teorisinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır [3]. Günümüzde, Avustralya'da Akçelik [4] tarafından geliştirilen SIDRA yöntemi gibi, her iki yaklaşımı da birleştiren gelişmiş kapasite ve analiz performans yöntemleri ön plana çıkmaktadır [4] [5] [6].

Çalışmanın sonraki bölümlerinde daha detaylı olarak ele alınacak olan bu yöntemler aslen dünyada modern dönel kavşaklar olarak tanımlanan kavşakların kapasitelerinin hesaplanması için kullanılmaktadırlar. Bu tür kavşakların gelişimi özellikle "Dönen araç geçiş önceliğine sahiptir" kuralının İngiltere'de Kasım 1966'da kabul edilmesinden sona hız kazanmaya başlamış ve özellikle Avrupa va Avustralya'da yaygınlaşmıştır [7] [8] [9] [10] [11] [12]. Ülkemizde, her ne kadar dönel kavşaklar için kanunda aynı kural geçerli olsa da, pratikte gerek kavşak geometrisi ve gerekse işletim özellikleri açısından geleneksel dönel kavşakların bulunduğu söylenebilir. Aslında son yıllarda Ankara'da Karayolları genel Müdürlüğü tarafından yaptırılmış olan iki modern dönel kavşak dışındaki tüm dönel kavşaklar geleneksel dönel kavşak olarak adlandırılabilirler [13].

Geleneksel dönel kavşaklar, trafiğin merkezde bulunan bir ada etrafında döndüğü kavşaklar olarak tanımlanabilirler; ancak yeni tip dönel kavşaklardan farklı olarak kavşaklarda geçiş önceliği, kavşak içindeki araçlara değil; yan yoldan kavşağa giriş yapan araçlara verilmekte ve örülme sahaslarının yüksek kapasitede olması amaçlanmaktadır [14]. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında geleneksel dönel kavşaklar yuvarlakada kavşak; modern dönel kavşaklar ise dönel kavşak olarak adlandırılacaklardır.

Bir yuvarlakada kavşağın kapasitesi (Q_e , araç/saat) yaklaşık olarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$Q_e = \frac{108w_w(1 + w_e / w_w)(1 - p/3)}{(1 + w_w / L)} \quad (1)$$

Burada, (L) örülme uzunluğu; (w_w) örülme genişliği; (w_e) ortalama giriş genişliği ve (p) örülme hareketinde bulunan araç oranı olarak tanımlanabilir. Bu bağıntı, Wardrop bağıntısı olarak adlandırılmaktadır. Pratik kapasite değeri, yukarıdaki bağıntıdan elde edilen kapasite değerinin %80'i alınmak suretiyle bulunabilir. Bunun sebebi, önceki ve sonraki örülme alanlarının, incelenen örülme alanı kapasitesi üzerindeki etkileridir [15].

Wardrop bağıntısı, yaklaşık sonuç veren bir bağıntı olup; kavşağın gerçek kapasitesinin tanımlanmasında yetersiz kalmaktadır. Ülkemizde, kavşak kapasitesinin ve performansının düşük olduğu gerekçesiyle birçok yuvarlakada kavşakta sinyalizasyon uygulamaları yapılmaktadır. Bazı kavşaklarda bu uygulamalar iyi sonuç vermekle birlikte, bazı kavşakların kapasite ve performansları mevcut durumun da altına düşmektedir. Bunun asıl sebebi, yuvarlakada kavşakların gerçek kapasitelerinin belirlenmesi için ülke şartlarını da dikkate alan bir yöntemin bulunmamasıdır.

Tek şeritli yuvarlakada kavşakların kapasitelerinin belirlenmesinde kritik aralık kabulü yönteminin uygulanabilirliği üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olup; kabul edilebilir bazı sonuçlara ulaşılmıştır [16][17]. Tanyel [18] ve Tanyel ve Yayla [19] ile Aydemir ve Tanyel'in çalışmalarında ise, çok şeritli yuvarlakada kavşakların kapasiteleri incelenmiştir.

Çalışmada, Türkiye'deki çok şeritli yuvarlakada kavşakların kapasitelerinin belirlenmesinde kritik aralık kabulü ve regresyon analizi yöntemlerinin kullanılabilirliklerinin irdelenmesi hedeflenmiştir. İlk olarak Tanyel [18] ve Tanyel ve Yayla'nın [19] çalışmaları temel alınarak kritik aralık kabul yöntemi tartışılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında elde edilen verilerden regresyon analizi yöntemi kullanılarak yeni bir kapasite bağıntısı elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece, Türkiye için bir kapasite analiz yönteminin oluşturulması için ilk adımın atılması hedeflenmiştir.

2. GÖZLEMLER

Çalışmada, İzmir'de bulunan dört yuvarlakada kavşağın dört yaklaşım kolunda Tanyel [18] tarafından yapılmış olan video kamera çekimlerinden yararlanılmıştır. Bu kavşaklar Alsancak Gar, Montrö, Lozan ve Cumhuriyet Meydanı kavşaklarıdır. Kavşakların geometrik özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir. Kavşakların tümü, İzmir Merkez ilçede Alsancak semtinde bulunmaktadır. Bu kavşakların seçilmesinde etkili olan faktörler şu şekilde sıralanabilir:

1. Kavşaklar, İzmir'in önemli arterleri üzerinde yer almaktadır.
2. Her dört kavşakta da en az bir yaklaşımda, yoğun dönüş ve giriş hacimleri gözlenmiştir.

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

3. Her dört kavşakta da video kamerayla çekim yapılma olanağı bulunmaktadır.
4. Her dört kavşakta da gözlem yapıldığı tarihlerde sinyalizasyon sistemi bulunmamaktadır.

Çizelge 1. Gözlem Yapılan Kavşakların Geometrik Özellikleri

Kavşak Adı	Alsancak Gar	Cumhuriyet	Montrö	Lozan
Dıştan Dışa Çap (D_i)(m)	55,00	140,00	65,00	67,00
Giriş şeridi sayısı (n_g)	2	1	2	2
Giriş şeridi genişliği (w_g) (m)	3,00	5,00	3,00	3,00
Çıkış Şeridi Sayısı (n_c)	2	1	-	2
Çıkış şeridi genişliği (w_c) (m)	3,00	5,00	-	3,00
Ayrıcı ada genişliği (w_{ad}) (m)	10,00	8,00	-	9,00
Dönüş şeridi sayısı (n_d)	3	2	3	3
Dönüş sahası genişliği (w_d) (m)	15,00	7,00	20,00	20,00
Kesişme açısı (ϕ)	45	47	46	54

Tüm çekimler, akşam zirve saatlerinde kavşak yakınında bulunan yüksek bir binadan yapılmıştır. Çekimler tekrar değerlendirilerek aşağıdaki veriler elde edilmeye çalışılmıştır:

- Dönen (ana) akım hacmi (araç/saat ve araç/dakika)
- Yanyoldan giren araç sayısı (araç/saat ve araç/dakika)
- Ana akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri (saniye)
- Yanyoldan giriş yapan araçlar arasındaki takip aralığı değerleri (saniye)
- Yanyol sürücüleri tarafından kabul edilmiş zaman cinsinden aralık değerleri (saniye)
- Yanyol sürücüleri tarafından reddedilmiş zaman cinsinden aralık değerleri (saniye)
- Araç kompozisyonu ve değişik araç türlerinin oranları

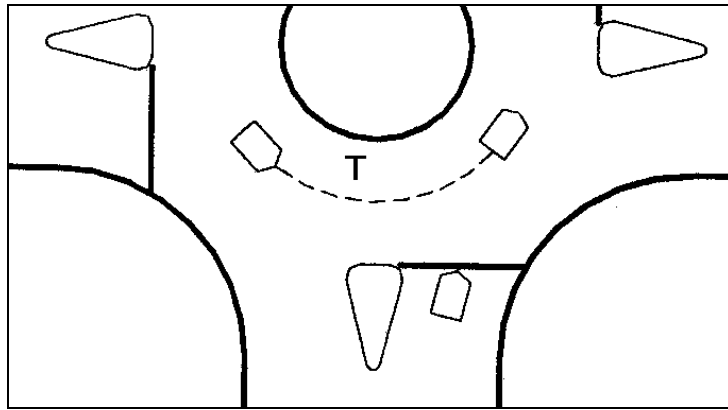
- Yanyoldan giriş yapan sürücülerin maruz kaldıkları servis gecikmesi değerleri (saniye)
- Kuyruk uzunlukları.

Troutbeck [21], dönel kavşakların kapasitelerinin belirlenmesinin en iyi yolunun, yanyoldan giriş yapan maksimum araç sayısının gözlemlerden elde edilmesi olduğunu belirtmiştir. Bu tür bir veri elde edebilmek için ise 30 dakika boyunca yanyolda sürekli kuyrukta bekleyen araçların bulunması gerekmektedir. Bu koşulda 1 ve 5 dakikalık veri gruplarının toplanması, kapasite analizleri için yeterli kabul edilmektedir [21]. Çalışmada 1 dakikalık veri gruplarının toplanması tercih edilmiştir. Lozan kavşağından 49, Montrö kavşağından 53, Cumhuriyet Meydanı kavşağından 84 ve Alsancak Gar kavşağından 82 dakikalık veri grupları elde edilebilmiştir.

3. KRİTİK ARALIK KABUL YÖNTEMİ

3.1 Ana Prensipler

Yanyoldan kavşağa gelen bir sürücü, kavşak boş fakat anayoldan kavşağa yaklaşan taşıt varsa önegiriş aralığı (lag) ile, kavşak dolu ve kavşağa yaklaşmakta olan taşıt var ise, bu anayol taşıtları arasındaki arayagiriş aralığı (gap) ile karşılaşacaktır [22]. Diğer bir tanımla yan yoldan gelen bir sürücü ana akım içine ancak ana akımda kendisi için güvenli gördüğü "T" gibi bir zaman cinsinden kritik aralık değerine eşit veya daha büyük bir aralık bulduğunda katılabilecektir [2]. Bu durum, Şekil 1'de görülmektedir. Kritik aralığın büyüklüğü, mümkün olan en az gecikme için seçilen en güvenli minimum zaman cinsinden aralık değeri olarak da ifade edilebilir.



Şekil 1. Kritik Aralık Kabulü

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

Genel olarak, kritik aralık kabulü ile kapasite, aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak hesaplanabilmektedir:

$$q_e = q_c \int_0^{\infty} f(t) \cdot g(t) dt \quad (2)$$

Burada $f(t)$, ana akımdaki aralıkların dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunu; $g(t)$, "t" aralığında yanyoldan kavşağa girebilecek araç sayısını, q_c , ana akım içindeki araç sayısını (araç/saniye) ve q_e de yanyol giriş yapabilecek maksimum araç sayısını (araç/saniye) yani kapasiteyi ifade etmektedir [23].

3.2 Ana Akımdaki Araçlar Arasındaki Zaman Cinsinden Aralıkların Tanımlanması

(2) no'lu bağıntıdan da anlaşılacağı gibi, kapasitenin hesaplanmasında kullanılan en önemli faktörlerden biri ana akım içindeki araçlara arasındaki zaman cinsinden aralıkların bir olasılık dağılım modeli ile tanımlanabilmesidir. Dağılımın seçilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus ise seçilen dağılımın kullanılma sebebidir. Eğer, çok kısa zaman cinsinden aralık değerleri modellenmek isteniyorsa, mod çevresinde yığılmış olan zaman cinsinden aralık değerlerini daha iyi tanımlayabilecek başka bir dağılımın kullanılması daha uygun olabilir. Eğer sinyalizasyon olmayan bir kavşağın kapasite ve performansı üzerinde bir çalışma yapılıyorsa; kısa zaman cinsinden aralık değerlerindense daha uzun aralıkların modellenmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda Cowan M3 dağılımı, uygun bir dağılım olarak kabul edilmektedir. [2] [24] [25] [26]. Cowan M3 dağılımının olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned} F(t) &= 0 & t < 0 \\ &= 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Burada α , anaakım (dönen akım) içindeki serbest araç oranını; λ , düzeltme katsayısını, Δ ise birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değerini ifade etmektedir. Çalışmada, Cowan M3 dağılımının parametrelerinin hesaplanması amaçlanmamış; parametreler hakkında genel bir bilgi verilmesi uygun görülmüştür. Cowan M3 dağılımı ve zaman cinsinden aralıkların modellenmesinde kullanılan dağılımlar hakkında Luttinen [27] [28], Sullivan ve Troutbeck [24] ve Troutbeck [26] tarafından hazırlanmış yayınların okunması tavsiye edilir.

Ana akımdaki zaman cinsinden aralık değeri (Δ), dağılımın uygunluğunun belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Troutbeck [11] ve Hagring [29], " Δ " katsayısı sabit tutularak diğer parametrelerin rahatlıkla hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan gözlemler, " Δ " katsayısının 0,5 saniye ile 2,5 saniye arasında değiştiğini göstermektedir [25][29]. 1,0 saniyeden daha küçük aralıkların genel olarak ana akımda birden fazla şerit bulunması durumunda, farklı şeritlerdeki araçlar arasında gözlenebileceği kabul

edilmektedir [30]. Ana akımın tek şerit olması durumunda, " Δ " değerinin 1,5 saniye ile 2,0 saniye arasında değiştiği hesaplarda dikkate alınmaktadır. Tanyel [18] çalışmasında " Δ " değerinin 1,5 ila 2,5 saniye arasında bir değer seçilmesinin uygun olacağını belirtmiştir.

" λ " parametresi, negatif üssel dağılımda, trafik hacmine (araç/saniye) eşittir. Cowan M3 dağılımında ise Troutbeck [11], " λ " katsayısını, bir azaltma faktörü olarak tanımlamıştır. Akçelik ve Chung [25], " λ "nın bir model parametresi olduğunu belirtmişlerdir. Hagring [29], bir dağılımın üssel kısmının etkisi olarak " λ " parametresini açıklamaya çalışmıştır. Tanyel ve Yayla [19] (2003) ise " λ " parametresini, "serbest araç oranı değişiminin, ana akım üzerindeki etkisi" olarak tanımlamışlardır. λ değeri aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\lambda = \frac{q_c \alpha}{1 - q_c \Delta} \quad (4)$$

Serbest araç oranı (α), değişik koşullar altında sürücü davranışlarında farklılıkları gösteren bir parametre olarak kabul edilebilir. Değişik yol ve kavşak koşulları altında α değeri önemli farklılıklar gösterebilir. İncelenen kavşaktan önce sinyalize bir kavşak bulunması gibi sebeplerden, trafik akımı içindeki araçların serbest veya başka bir deyişle birbirlerinden bağımsız ve tamamen rasgele hareketlerinin kısıtlanabileceği açıktır. Özellikle kırmızı ışık sonrası araçların bir grup halinde harekete başladıkları gözlemlenmektedir. Yine de grubun en önündeki araçlar gibi gruptaki diğer araçların hızlarını onlara göre ayarladıkları ve/veya hareket edilen mesafe uzadıkça grupta beraber hareketine başlayan fakat hızını arttırarak gruptan ayrı hareket etmeye çalışan araçlar olacaktır. Bu araçlar, "serbest hareket eden araçlar" olarak adlandırılabilir. Dawson ve Chimini'ye [31] göre bir aracın serbest hareket eden araç olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

1. Zaman cinsinden takip aralık değeri, "uygun" bir uzunlukta olmalıdır.
2. Serbest araç, hızını öndeki araca göre ayarlamamak için, rahatça geçiş yapabilmelidir.
3. Geçiş işlemi tamamlandıktan sonra bile serbest aracın hala bağımsız bir birim olarak hareket edebilmesi için uygun bir hızı koruyabilmesi gerekir.

Diğer araçlar ise takip eden araçlar olarak adlandırılabilirler.

Değişik koşullar için birçok araştırmacı farklı bağıntılar önermişlerdir. " α " değerinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli problem, birbirlerini hangi uzunlukta bir aralıkla takip eden araçların grup halinde hareket eden araçlar olarak; hangilerinin de serbest hareket eden araçlar olarak tanımlanabileceğidir. Troutbeck [26], 2 saniyeden daha küçük aralıklarda, araçların büyük olasılıkla grup halinde hareket ettiklerini, 4 saniyeden daha büyük aralıklarda ise, araçların serbest olarak kabul edilebileceklerini belirtmiştir. Yine Troutbeck'in [26] çalışmalarına göre, 4 saniye araçların tamamen serbest hareket ettikleri zaman cinsinden aralık sınırı olarak kabul edilebilir. Ancak bunun her zaman geçerli bir

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

kabul olarak öne sürülmesi de doğru değildir. Nitekim Hagring [29], dönel kavşaklar için üst sınırı 3 saniye olarak kabul etmiştir.

Günümüzde serbest araç oranı için çok farklı bağıntılar önerilmiştir. Bu çalışmada Tanyel ve Yayla'nın [19] önerdikleri aşağıdaki bağıntı, ülkemiz koşullarını daha iyi tanımlayabileceği düşünüldüğünden, hesaplamalarda kullanılmıştır:

$$\alpha = 1,25 - 1,13 \cdot \Delta \cdot q_c \quad \Delta \cdot q_c > 0,22 \text{ için} \quad (5)$$
$$\alpha = 1,0 \quad \text{Diğer koşullar için.}$$

3.3 Kapasitenin Hesaplanması

" t " aralığında yanyoldan kavşağa girebilecek araç sayısının " $g(t)$ " elde edilmesi için iki farklı yöntem kabul edilebilir. Bu kabuller sonucunda ise, farklı kapasite bağıntılarının elde edilmesi mümkündür. Birinci yöntem, $g(t)$ için adım adım artan sabit bir fonksiyon kabulü yapılmasıdır. İkinci yöntem ise $g(t)$ için sürekli bir lineer fonksiyon kabulü yapılmasıdır. Seigloch, ikinci yöntemi kullanarak dönel kavşakların kapasite modeli olarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [21]:

$$q_e = \frac{\alpha \cdot q_c e^{-\lambda(T-\Delta)}}{\lambda \cdot T_0} \quad (6)$$

Burada T , kabul edilen kritik aralık değerini, T_0 ise yanyoldan giriş yapan araçlara arasındaki minimum takip aralığı değerini vermektedir. $g(t)$ için adım adım artan sabit bir fonksiyon kabulü yapılması durumunda ise, kapasite bağıntısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

Çizelge 2. Cowan M3 Dağılımı Kullanılması Durumunda Kavşağa Girebilecek Araç Sayıları

Zaman Cinsinden Aralığın Büyüklüğü	Aralıkta Kavşağa Giren Araç Sayısı	Zaman Cinsinden Aralık Sayısı
$<T$	0	$q_c(1 - \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)})$
$T \sim 2T$	1	$q_c(\alpha e^{-\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)})$
$2T \sim 3T$	2	$q_c(\alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)})$
$3T \sim 4T$	3	$q_c(\alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-4\lambda(T-\Delta)})$

Kavşağa bağlanan bir yan yolda sürekli kuyruk olduğu kabul edilsin. Ana akımdaki araçlar arasındaki aralığın " T " 'den daha kısa olması durumunda hiçbir aracın kavşağa

giremediğini; ana akımdaki araçlar arasındaki aralığın " T " ile " $2T$ " arasında olması durumunda 1 aracın; " $2T$ " ile " $3T$ " arasında olması durumunda 2 aracın v.b. kavşağa girebildiği düşünülün. Bu durum, anayoldaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıkların Cowan M3 dağılımına uyduğu kabul edildiğinde yanyoldan giriş yapabilecek araç sayısı Çizelge 2'deki şekilde bulunabilir:

Çizelge 2'den yanyol kapasitesini veren ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$q_e = q_c (\alpha e^{-\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)}) + 2.q_c (\alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)}) + \dots \quad (7a)$$

$$q_e = q_c \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)} + q_c \alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)} + q_c \alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)} + \dots \quad (7b)$$

Bu ifade bir geometrik seridir. Yanyoldaki araçların birbirlerini " T_0 " gibi bir aralıkla takip ettikleri kabul edildiğinde, iki aracın kavşağa girebilmesi için anayoldaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralığın " $T+2T_0$ ", üç aracın kavşağa giriş yapabilmesi için ise " $T+3T_0$ " olması gerekir. Bu durumda bağıntı (7)'de gerekli düzenlemeler yapıldığında anayolda tek şerit bulunması durumunda kapasite aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$q_e = \frac{q_c \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (8)$$

Bu bağıntı, tek şeritli dönele kavşaklar için Troutbeck [11] tarafından önerilen bağıntıdır. Hagring [29], bu bağıntıyı genelleştirerek, ana akımdaki araçların birden fazla şeritte bulunması durumu için yanyol kapasitesinin aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabileceğini söylemiştir:

$$q_e = \Lambda \prod_i \frac{\alpha_i q_{ci}}{\lambda_i} \frac{e^{-\Lambda T}}{e^{-\Lambda \Delta} (1 - e^{-\Lambda T_0})} \quad (9)$$

Bu bağıntıda q_{ci} , "i"nci şeride ait trafik akımını; λ_i , "i"nci şeritteki akıma ait λ katsayısını; α_i , "i"nci şeritteki serbest araç oranını ifade etmektedir. " Λ " ise " λ_i " değerlerinin toplamıdır.

3.4 Ters Öncelik (Reverse Priority) ve Aralık Zorlama (Gap Forcing) Koşulları

Her ne kadar bir yuvarlakada kavşakta geçiş önceliği, kavşak içinde dönüş hareketinde bulunan araçlarda olsa da; yanyoldan gelen akımın, dönen akımdan daha büyük olması durumunda önceliklerin değiştiği gözlenebilir. Özellikle şehir içindeki ana arterler üzerindeki yuvarlakada kavşaklarda, bu durumla sık karşılaşmaktadır. Eğer önceliklerdeki

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

bu değişimler dikkate alınmazsa, yanyol kapasitesinin gerçekten daha düşük tahmin edilmesi; bunun sonucunda kavşağın performansı hakkında önemli yanlışlara düşülmesi söz konusu olabilir. Sık karşılaşılan diğer bir durum ise, yanyoldaki sürücülerin, ana akımdaki araçları yavaşlamaya veya durmaya mecbur ederek kavşağa girmeleridir. Sınırlı öncelik (limited priority) olarak adlandırılan bu durum özellikle, yanyoldaki sürücülerin yüksek ana akım değerleri sebebiyle uzun gecikmelere maruz kaldıkları zamanlarda görülmektedir. Troutbeck [32], bu durumda yaklaşımın kapasitesinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$q_e = \frac{\alpha C q_c e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (10)$$

Bu daha önce (8) bağıntısı ile belirtilen ve yine Troutbeck tarafından önerilmiş olan kapasite bağıntısının geliştirilmiş bir şeklidir. Bağıntıda bulunan "C" katsayısı, sınırlı öncelik durumunda kapasitenin hesaplanabilmesi için kullanılan bir katsayıdır ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$C = \frac{1 - e^{-\lambda T_0}}{[1 - e^{-\lambda(T-\Delta)} - \lambda(T - T_0 - \Delta)e^{-\lambda(T-\Delta)}]} \quad (11)$$

Bu bağıntı $T_0 + \Delta > T > \Delta$ koşulunda kullanılmaktadır.

3.5 Kritik Aralık Kabul ve Takip Aralığı Değerleri

Bir yuvarlakada kavşak yaklaşımının kapasitesi büyük oranda kritik aralık kabul ve yanyol sürücülerine ait minimum takip aralığı değerlerine bağlıdır. Akçelik [4], kritik aralık kabul değerinin 2,2~8,0 saniye, takip aralığı değerinin ise 1,2~4,0 saniye aralığında değişebileceğini vurgulamıştır. Tanyel [18] çalışmasında, gözlem yapılan yaklaşımlara ait kritik aralık kabul değerlerinin 2,1~4,5 saniye arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu değerlerin, "aralık zorlama" davranışının, ülkemizde çok sık görüldüğünü ortaya koyan önemli bir gösterge olarak kabul edilebilir. Yine Tanyel [18]'in çalışmasında takip aralığı değerinin 2,0~2,5 saniye aralığında seçilmesi önerilmektedir.

Kritik aralık kabul değeri ile takip aralığı değerleri arasında önemli bir ilişki olduğu bilinmektedir [23]. Troutbeck [11], yanyolda birden fazla şerit bulunması durumunda, sürücüler tarafından en fazla tercih edilen, diğer bir deyişle hakim (dominant) yanyol şeridindeki araçlar arasındaki minimum takip aralığı değerinin (T_{0dom}) aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmiştir:

$$T_{0dom} = 3,37 - 0,000394Q_c - 0,0208D_i + 0,0000889D_i^2 - 0,395n_g + 0,388n_d \quad (12)$$

Burada Q_c , dönen araç sayısını (araç/saat), D_i , kavşağın dıştan dışa çapını; n_g giriş şeridi sayısını ve n_d ise dönüş şeridi sayısını belirtmektedir. Hakim olmayan (sub-dominant) şeritteki araçlar arasındaki minimum takip aralığı değeri (T_{0sub}) ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$T_{0sub} = 2,149 + 0,5135T_{0dom} \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} - 0,8735 \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} \quad (13)$$

Burada Q_{dom} , hakim şeritteki araç sayısını (araç/saat); Q_{sub} ise diğer şeritteki araç sayısını (araç/saat) belirtmektedir. Hakim olan veya hakim olmayan yanyol şeridinde bulunan sürücülere ait kritik aralık kabul değeri, bağıntı (12) ve (13)'ten elde edilen değerlerden elde edilebilir:

$$T_i = (3,6135 - 0,0003137Q_c - 0,3390w_{gi} - 0,2775n_d)T_{0i} \quad (14)$$

Burada T_i , i 'inci şeritteki (hakim veya hakim olmayan şeritteki) sürücülerin kritik aralık kabul değerini; w_{gi} , i 'inci şeridin genişliğini; T_{0i} ise i 'inci şeritteki sürücülere ait minimum takip aralığı değerini vermektedir. 12~14 bağıntıları ile hesaplanan gözlenen kavşaklara ait ortalama minimum takip aralığı ve kritik aralık değerleri Çizelge 3'te gösterilmektedir. Çizelge incelendiğinde, elde edilen değerlerin tümünün Akçelik [4] tarafından önerilen aralıkta bulunduğu, sadece takip aralığı değerlerinin Tanyel [18] tarafından belirtilen aralığın dışına çıktığı ancak üst sınıra çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmada, kapasite analizlerinde kritik aralık kabul ve takip aralığı değerleri bu bağıntılar kullanılarak hesaplanacaktır.

Çizelge 3. Gözlem Yapılan Kavşaklara Ait Kritik Aralık Kabul ve Minimum Takip Aralığı Değerleri

Kavşak	T_{dom} (saniye)	T_{sub} (saniye)	T_{0dom} (saniye)	T_{0sub} (saniye)
Montrö	2,85	3,12	2,27	2,49
Lozan	3,05	3,21	2,49	2,63
Cumhuriyet	2,66	-	2,00	-
Alsancak Gar	4,08	4,21	2,61	2,68

4. REGRESYON ANALİZİNE DAYALI YUVARLAKADA KAVŞAK KAPASİTE HESABI

Bölüm 1’de de açıklandığı gibi, yuvarlakada kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan iki ana yaklaşımdan birisi de regresyon analizi yöntemidir. Regresyon analizi yöntemi ilk olarak Kimber [33] tarafından önerilmiştir. Kimber, kritik aralık kabulü yöntemine aşağıdaki eleştirileri getirmiştir:

1. Takip aralığı (T_0) ve kritik aralık (T) değerleri, dönen akıma bağlı olarak hesaplanmalı, sabit bir değer seçilmemelidir.
2. Kritik aralık değerleri, kavşağın geometrik yapısına bağlı olarak hesaplanmalıdır.
3. Kritik aralık kabulü yöntemi, yüksek ana akım değerlerinin gözlendiği durumlarda geçerli değildir, çünkü bu durumlarda öncelik paylaşımı (priority sharing) veya ters öncelik (reverse priority) adı verilen koşullar ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde İngiltere, Fransa, İsviçre, Almanya ve Amerika Birleşik devletleri gibi ülkelerde regresyon analizine dayalı birçok yöntem geliştirilmiş olmakla birlikte, TRL (Transportation Research Laboratory) tarafından geliştirilmiş olan yöntem tüm dünyada regresyon analizine dayalı en çok tanınan yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem, tüm regresyon analizine dayanan yöntemlerde olduğu gibi, aşağıda verilen basit bağıntı ile tanımlanabilir [3]:

$$Q_e = F - f_c \cdot Q_c \quad (15)$$

Burada F ve f_c kavşağın geometrisi ile ilgili parametrelerdir. Bu parametreler aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$F = 303 * x_2 * k \quad (16)$$

$$f_c = 0.210 * t_D * k * (1 + 0.2 * x_2) \quad (17)$$

Bu iki denklemdaki değişkenler ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$k = 1 - 0.00347 * (\phi - 30) - 0.978 * (1/r - 0.05) \quad (18)$$

$$t_D = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{[(D_c - 60)/10]}} \quad (19)$$

$$x_2 = w_a + \frac{w_e - w_a}{1 + 2 * V} \quad (20)$$

$$V = 1.6 * \frac{w_e - w_a}{l'} \quad (21)$$

Burada; w_a , yaklaşım kolunun yarı genişliğini, w_e , yaklaşım kolun ağzında, kavşak dış kenarına dik olarak ölçülen açıklığı; r , giriş yarıçapını (yaklaşım kolunun ağzındaki minimum eğrilik yarıçapı), ϕ , kesişme açısını (kavşağa giren ve ada etrafında dönen akımların yörüngeleri arasındaki açı), l' , yaklaşım kolunun ağız bölgesinde ortalama etkin genişleme uzunluğunu (m) ve D_e , kavşağın yarıçapını ifade etmektedir.

İngiliz kavşak kapasite hesabındaki bir sonraki aşama, kavşağın bütün kolları arasındaki etkileşimleri de dikkate alarak bir dengeleme yapmaktır. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için basit iterasyon yöntemleri veya doğrusal programlamaya dayalı algoritmaların kullanılması mümkündür [3] [4].

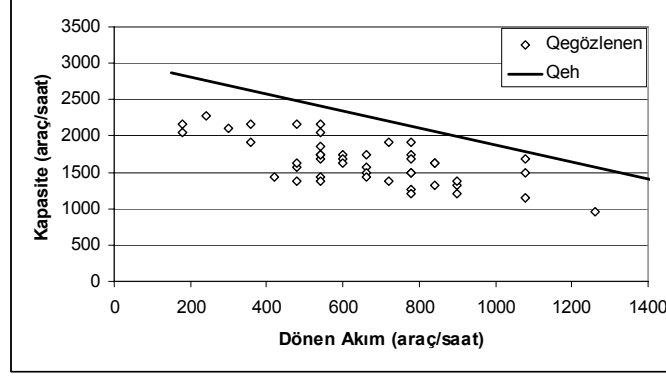
5. DEĞERLENDİRME

Çalışmada ilk olarak, gözlem yapılan dört kavşaktan elde edilen veriler TRL yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla dakikalık dönen akım ve kapasite değerleri saatlik değerlere çevrilmiştir [21]. Üç dönüş ve iki giriş şeridine sahip olan yuvarlakada kavşaklardan (Montrö, Lozan ve Alsancak Gar) elde edilen değerlerin TRL yöntemi ile karşılaştırılmaları grafiksel olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde $Q_{gözlenen}$, gözlemlerden elde edilen kapasite değerlerinin, Q_{eh} ise hesaplanan kapasite değerlerini ifade etmektedir. Şekilden açıkça görülebildiği gibi, TRL yöntemi Montrö ve Alsancak Gar kavşaklarında kabul edilebilir sonuçlar vermekte ancak Lozan kavşağında kapasiteyi gerçekten daha yüksek hesaplamaktadır. Lozan kavşağında her ne kadar dönen akım değeri düşük olsa da, yanyoldan giren akım üzerinde önemli bir kısıtlayıcı etkiye sahip olduğu; özellikle kavşak geometrisindeki düzensizliklerin sürücülerin kavşağa giriş yaparken tedirginliğe sevk ettiği söylenebilir.

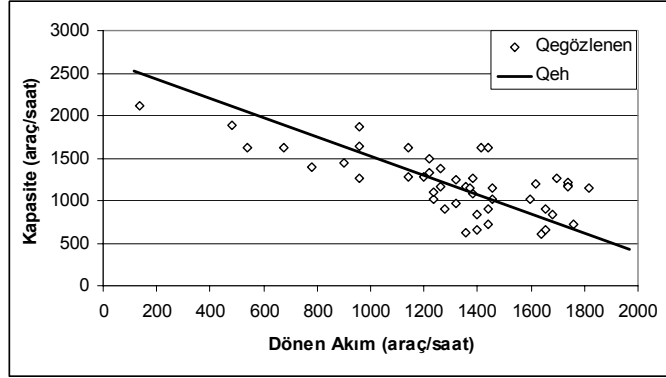
Şekil 3'te, Cumhuriyet Meydanı kavşağında yapılmış olan gözlemlerle, TRL yöntemi sonuçları karşılaştırılmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi, TRL yöntemi kapasiteyi, gerçekten daha düşük hesaplamaktadır. Bunun sebebi şu şekilde açıklanabilir: Giriş şerit genişliğinin 5,00m olması, sürücülerin bazılarının girişte ikinci şeridi oluşturduklarını işaret etmektedir. Ancak bunun her sürücü için geçerli olmadığı açıktır. Nitekim video çekimleri incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir. Bu yaklaşım, özellikle yanyolun giriş genişliğinin kapasite üzerinde önemli bir etkisi olabileceğine de işaret etmektedir.

Bir sonraki adım olarak gözlem değerleri kullanılarak yeni bir ampirik bağıntı elde edilmesi amaçlanmıştır. Tanyel v.d. [34] tek şeritli yuvarlakada kavşaklar için yapılan hesaplarda, yanyoldan giriş kapasitesi üzerinde kavşağın dıştan dışa çapı (D_i) ile yanyol giriş genişliğinin (w_e) en fazla etkiye sahip olduğu belirtmişlerdir. Çalışmada, dönen akım ile bu iki parametreye bağlı olarak kapasite bağıntısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla üç aşamalı regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

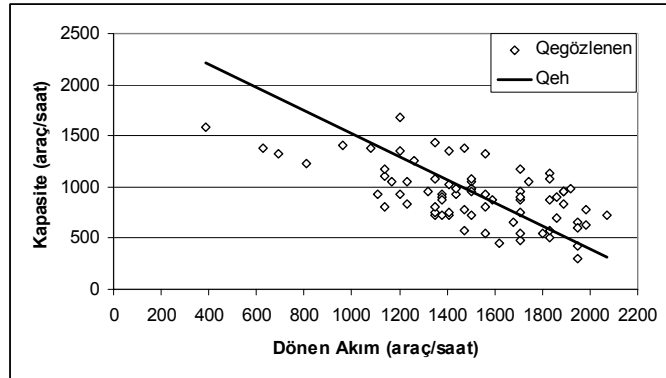
Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma



(a) Lozan Meydanı

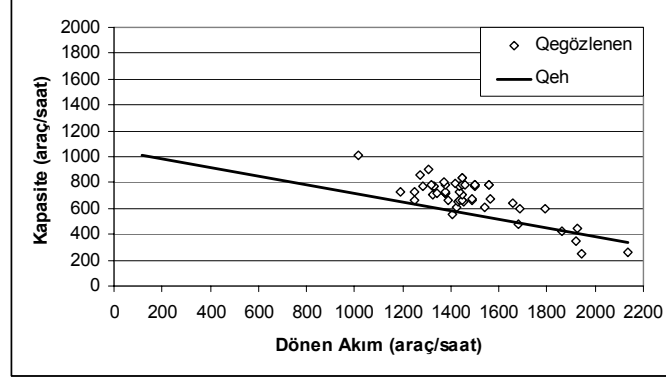


(b) Montrö Meydanı



(c) Alsancak Gar Kavşağı

Şekil 2. Gözlenen Kapasite Değerlerinin TRL Yöntemi Sonuçlarıyla Karşılaştırılması



Şekil 3. Cumhuriyet Meydanında Gözlenen Kapasite Değerlerinin TRL Yöntemi Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Çizelge 4. Regresyon Analizi Sonuçları

Değişken	Katsayı	Standart hata	t istatistiği	P	Korelasyon Katsayısı (r)
Sabit sayı	1246,277	371,025	3,359	0,001	
Q_c	-0,669	0,048	-13,843	1,39E-31	0,870
D_i	-2,042	2,157	-0,947	0,345	
w_e	108,939	41,094	2,6510	0,010	
Sabit Sayı	920,981	139,826	6,587	3,38E-10	
Q_c	-0,641	0,038	-16,812	4,11E-41	0,870
w_e	144,705	16,152	8,959	1,56E-16	
Sabit Sayı	2106,871	52,645	40,020	4E-102	
Q_c	-0,806	0,039	-20,718	2,52E-53	0,815

Çizelge 4 incelendiğinde kavşak içinde dönüş yapan araç sayısı ile yanyol giriş genişliğinin oldukça etkili olduğu görülmektedir. Nitekim, w_e değeri hesaplarda dikkate alınmadığı durumda korelasyon katsayısının, dikkate alındığı duruma oranla önemli derecede azaldığı; sabit sayının anlamlılığının da önemli oranda arttığı söylenebilir. D_i değerinin ise kapasite

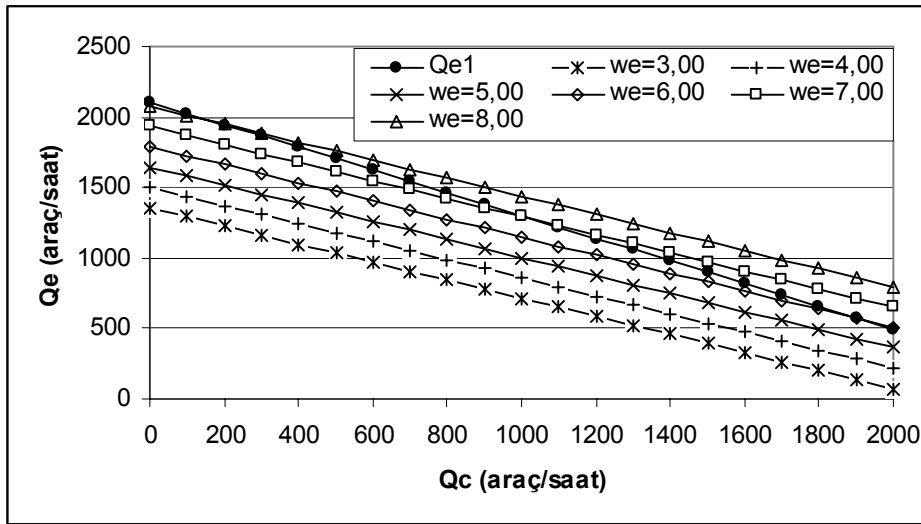
Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

üzerinde önemli bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Buna göre iki bağıntı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q_{e1} = 2107 - 0,81Q_c \quad (22)$$

$$Q_{e2} = 921 - 0,64Q_c + 145w_e \quad (23)$$

Elde edilen iki ampirik model, değişik giriş genişlikleri için karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere, giriş genişliği arttıkça yanyol kapasitesi de önemli oranda artış göstermektedir. (22) bağıntısı ise, yanyol giriş genişliğinin 6,00~8,00m olması koşullarında yakın değerler vermektedir.



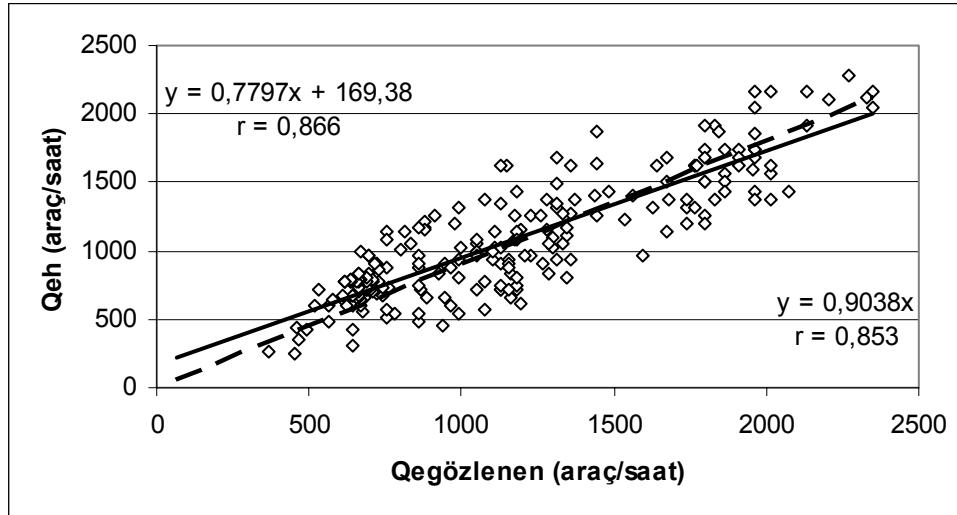
Şekil 4. Ampirik Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Değerlendirmenin ikinci aşaması olarak, Bölüm 3'te detaylı olarak açıklanmaya çalışılan kritik aralık kabul yönteminin kullanılabilirliği irdelenmeye çalışılmıştır. Hesapların ilk aşamasında, ters öncelik veya aralık zorlama koşulları dikkate alınmamıştır. Buna göre hesaplar, aşağıdaki sırada gerçekleştirilmiştir:

1. Her gözlem değeri için (12), (13) ve (14) bağıntıları kullanılarak takip aralığı ve kritik aralık kabul değerleri hesaplanmıştır.
2. Ana akım içindeki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değeri (Δ), her şerit için 2 saniye olarak kabul edilmiştir.

3. (4) bağıntısından λ , (5) bağıntısından da her şeritteki serbest araç oranı (α) hesaplanmıştır.
4. Elde edilen değerler (9) bağıntısında yerine konularak, kapasite değerleri hesaplanmıştır.
5. Hesaplanan kapasite değerleri (Q_{eh}) ile gözlenen kapasite değerleri ($Q_{egözlenen}$) karşılaştırılarak sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir.

Şekil 5'te, Q_{eh} ile $Q_{egözlenen}$ değerlerini karşılaştırmak amacıyla iki korelasyon doğrusu geçirilmiştir: Düz çizgi iki değer gerçekte birbirlerine ne kadar yakınsadığını, kesikli çizgi ise eksen kesme katsayısının "sıfır" olması koşulunda sonuçların benzerliğini göstermektedir. İstenen, eksen kesme katsayısının sıfıra, "x" değişkenine ($Q_{egözlenen}$) ait katsayının da "1"e yakın olmasıdır. Ayrıca her iki doğrunun mümkün olduğunca çakışması ve iki korelasyon doğrusuna çizgisine ait korelasyon katsayılarının da yakın olması beklenmektedir.

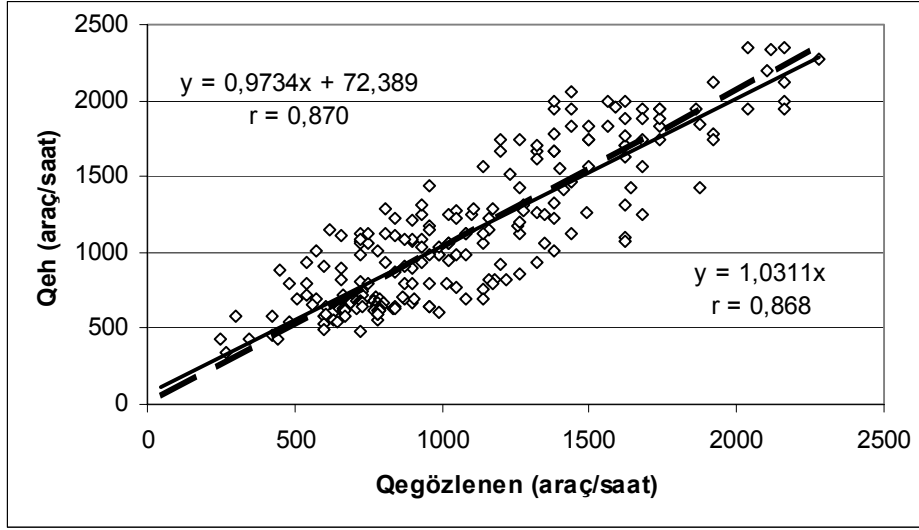


Şekil 5. Kritik Aralık Kabul Yöntemi Sonuçları ile Gözlem Verilerinin Karşılaştırılması

Şekil 5 incelendiğinde, sabit sayının sıfırdan farklı olduğu; "x" değişkenine ait katsayının ise "0,7797" gibi birden oldukça düşük sayılabilecek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Eksen kesme katsayısının sıfır kabul edilmesi durumunda ise "x" değişkenine ait katsayı 0,9038 gibi bire yakın bir değere ulaşmış olsa da korelasyon katsayısının düştüğü görülmektedir. Bu sonuç, kritik aralık kabulü yönteminin temelini oluşturan "anayoldaki araç geçiş üstünlüğüne" sahiptir kabulünün her zaman geçerli olmayabileceğini göstermektedir. Bu durumda ters öncelik veya aralık zorlama koşullarının da hesaplara dahil edilmesi gerektiği düşünülebilir. Bu amaçla kapasite Troutbeck [11] [32] tarafından önerilen (10) ve (11) bağıntıları kullanılarak tekrar hesaplanmış; elde edilen değerler gözlenen kapasite değerleri ile karşılaştırılarak sonuçlar Şekil 6'daki grafikte gösterilmiştir.

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

Şekil 6 incelendiğinde, eksen kesme katsayısının sıfırdan farklı olmakla birlikte 169,38'den 72,39'a düştüğü; "x" değişkenine ait katsayının ise "0,9734" değerine ulaşarak bire oldukça yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca elde edilen korelasyon katsayısı değeri, (23) bağıntısının korelasyon katsayısı değeri ile aynıdır. Eksen kesme katsayısının sıfır olması durumunda ise "x" değişkenine ait katsayı neredeyse bire eşittir. Korelasyon katsayısı ise, diğer kıyas çizgisine ait korelasyon katsayısına çok yakındır.



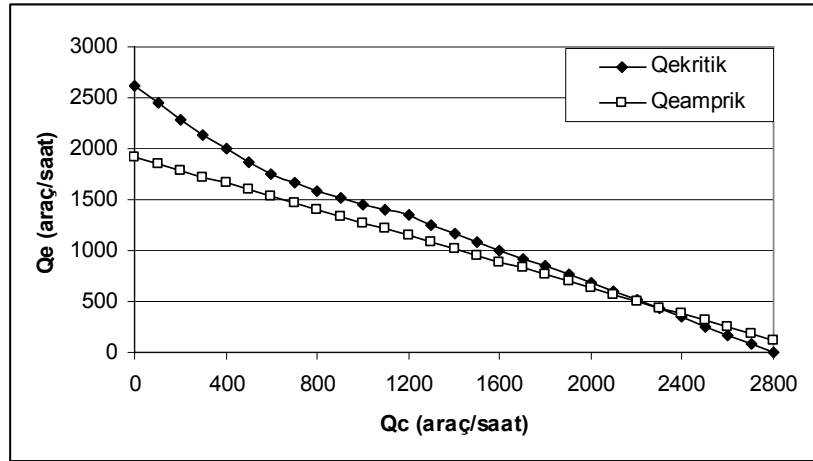
Şekil 6. Ters Öncelik ve Aralık Zorlama Koşulları Dikkate Alınarak Hesaplanan Kritik Aralık Kabul Yöntemi Sonuçları ile Gözlem Verilerinin Karşılaştırılması

6. TARTIŞMA

Yapılan çalışmalar, kritik aralık kabul yöntemi ile regresyon analizi yöntemlerinin, gözlenen kapasite değerlerini birbirlerine yakın doğrulukta tanımlayabildiklerini göstermektedir. Ancak her iki yöntem birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, kapasitenin tanımında önemli farklılıklar gösterdikleri görülebilir. Dıştan dışa çapı (D_e) 70,00m, yanyol giriş genişliği (w_e), 7,00m olan üç dönüş ve iki giriş şeridi bulunan bir yuvarlakada kavşak yaklaşımının kapasitesi, değişik dönen akım değerleri için kritik aralık kabul yöntemi ile regresyon analizi yöntemi kullanılarak elde edilmiş olan bağıntı (23) kullanılarak hesaplanmıştır. Kritik aralık kabul yöntemi hesaplarında, ters öncelik ve aralık zorlama koşulları da dikkate alınmıştır. Sonuçların şematik gösterimi Şekil 7'de verilmektedir.

Şekil incelendiğinde kritik aralık kabul yöntemi ile hesaplanan kapasite değerinin özellikle dönen akımın küçük değerleri için daha yüksek sonuçlar verdiği; daha yüksek dönen akım değerleri içinse her iki yöntemin sonuçlarının birbirine yaklaştığı, özellikle dönen akımın 2400 araç/saat'in üzerine çıktığı koşullarda ampirik bağıntının daha yüksek kapasite değerleri verdiği görülmektedir. Akçelik [35], ampirik modellerin düşük dönüş akım koşulları için kapasiteyi daha düşük, yüksek dönüş akım koşulları içinse daha yüksek hesapladıklarını belirtmiştir. Şekil 7'nin bunu doğruladığı düşünülebilirse de, Şekil 8

incelendiğinde, Cumhuriyet Meydanı kavşağında farklı sonuçlar ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Bunda kavşak geometrisinin etkisi olduğu söylenebilir. Bu da Türkiye’deki yuvarlakada kavşakların kapasite analizlerinde, kavşakların kendi yapılarından kaynaklanan farklılıkların da göz önünde bulundurularak hesaplanan kapasitelerin değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

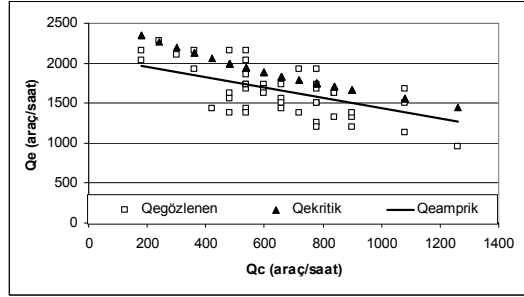


Şekil 7. Yöntemlerin karşılaştırılması

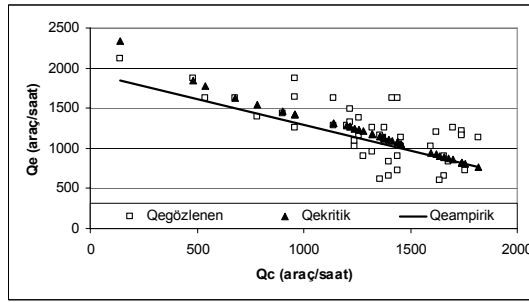
Her iki yöntemin de bazı üstünlükleri olduğu söylenebilir. Burada ifade edilmesi gereken önemli hususlardan biri, kritik aralık kabul yönteminde de aslında bazı ampirik bağıntılar kullanılarak elde edilen parametrelerin kapasite hesabında kullanıldığıdır. Çalışma kapsamında kullanılan α bağıntısı, Tanyel ve Yayla [19] tarafından regresyon analizi kullanılarak elde edilmiştir. Kritik aralık kabulü ve takip aralığı değerleri ise Troutbeck [11] tarafından önerilmiş olup yine birçok kavşak üzerinde yapılan gözlem verilerinden ampirik olarak elde edilmişlerdir. Dolayısıyla son yıllarda kullanılan kritik aralık kabulü yöntemleri sadece teorik değil, gözlemsel verilerden elde edilen bulgularla güçlendirilmiş ve pratikte gözlenen araçlar arası etkileşimleri daha iyi tanımlayabilen yöntemler şeklini almaktadırlar. aaSIDRA yöntemi bunun en önemli örneklerinden birisidir [35].

Regresyon analizi yöntemlerinin ise, çok sayıda ve kaliteli veri toplanması durumunda oldukça etkili sonuçlar verebilecekleri görülmektedir. Sürücü davranışlarının ülkeden ülkeye, hatta kentten kente değişiklik gösterebilmesi, aslında her iki yönteminde zayıf yönü olarak ön plana çıkmakla birlikte; kritik aralık kabul yöntemi için çok düşük trafik akım koşulları altında toplanan verilerin bile kullanılabilmesi; temelinin sadece gözlemsel verilere değil aynı zamanda matematiksel kuramlara da dayanması, bu yöntemin tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Regresyon analizi yöntemleri ise ancak çok sayıda ve kapasiteye erişilmesi durumunda toplanan verilerin kullanımını gerektirdiğinden; sağlıklı sonuçlar elde edilmesi ancak çok uzun ve/veya çok pahalı araştırma süreçlerini gerektirmektedir.

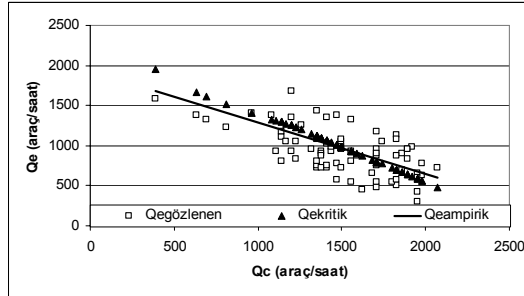
Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma



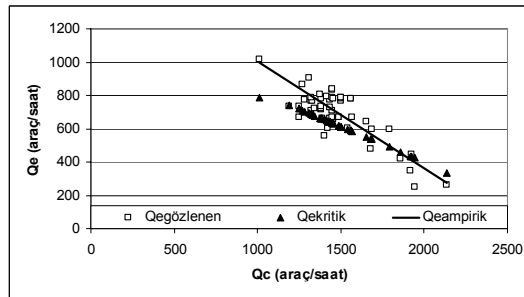
(a) Lozan Meydan Kavşağı



(b) Montrö Meydanı Kavşağı



(c) Alsancak Gar Kavşağı



(d) Cumhuriyet Meydanı Kavşağı

Şekil 8. Kritik Aralık Kabul Yöntemi ile Ampirik Bağıntuların Sonuçlarının Kavşak Gözlemleri İle Karşılaştırılması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, İzmir'deki dört yuvarlakada kavşaktan elde edilmiş olan verilerden yararlanarak, kritik aralık kabul ve regresyon analizi yöntemlerinin uygulanabilirliği karşılaştırılmalı olarak tartışılmaya çalışılmıştır. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- İncelemeler sonucunda yuvarlakada kavşakların kapasitelerinin analizinde regresyon analizi ile kritik aralık kabulü yöntemlerinin birbirlerine çok yakın doğrulukla gözlem verilerini tanımlayabildikleri görülmüştür. Ancak yurtdışında geliştirilmiş modellerin yerine ülkemiz koşullarını yansıtabilecek, detaylı gözlem ve araştırmalara dayalı modellerin kullanılmasının daha sağlıklı olabileceği görülmüştür.
- Kritik aralık kabul yöntemi için gerekli olan veriler, düşük trafik akım koşulları altında da toplanabilmektedir. Bu, kritik aralık kabul yönteminin daha kolay ölçülenmesini sağlamakta ayrıca düşük dönen akım koşulları altında hesaplanan kapasite değerlerinin güvenilirliğini arttırmaktadır.
- Diğer yandan, regresyon analizi yöntemi kullanılarak elde edilen bağıntılar, bazen daha basit ve kolay uygulanabilir olabilmektedir. TRL yönteminin aksine, az sayıda geometrik değişken ve dönen akım oranına bağlı bir modelin oluşturulması hem güvenilirlik hem de uygulanabilirlik açısından daha uygun olacaktır.
- Gözlemler ve hesaplar, kavşak geometrisinden kaynaklanan bazı farklılıkların da bulunabileceğine ve bunların modelleme aşamasında dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir. Bu da yukarıda da belirtildiği gibi çok sayıda gözlem ve analizin yapılması anlamına gelmektedir.
- İlerideki çalışmalarda, ülke genelinde bulunan birçok farklı yuvarlakada kavşaktan da veri toplanması suretiyle daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi hedeflenmektedir. Böylece kritik aralık kabulü ve regresyon analizi yöntemleri arasında karar vermek daha da kolaylaşacaktır.

Semboller

- C : Sınırlı öncelik durumunda kapasitenin hesaplanabilmesi için kullanılan katsayı;
 D_c : Kavşağın yarıçapı (m);
 D_i : Dıştan dışa kavşak çapı (m);
 $f(t)$: Ana akımdaki aralıkların dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu;
 $g(t)$: "t" aralığında yanyoldan kavşağa girebilecek araç sayısı,
 l' : Yaklaşım kolunun ağız bölgesinde ortalama etkin genişleme uzunluğunu (m);
 L : Örüme uzunluğu (m);
 $n_ç$: Çıkış şeridi sayısı;
 n_d : Dönüş şeridi sayısı;
 n_g : Giriş şeridi sayısı;

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

- p : Örülme hareketinde bulunan araç oranı (%);
 q_c : Ana akım içindeki araç sayısı (araç/saniye);
 Q_c : Ana akımdaki araç sayısı (araç/saat);
 Q_{dom} : Yanyoldaki hakim şeridi kullanan araç sayısı (araç/saat);
 q_e : Yanyol giriş yapabilecek maksimum araç sayısı (araç/saniye);
 Q_e : Yanyol Kapasitesi (araç/saat);
 $Q_{egözlenen}$: Gözlenen Kapasite
 Q_{eh} : Hesaplanan kapasite (araç/saat);
 Q_{sub} : Yanyoldaki hakim olmayan şeridi kullanan araç sayısı (araç/saat);
 r : Giriş yarıçapını (yaklaşım kolunun ağzındaki minimum eğrilik yarıçapı),
 T : Kritik aralık kabul değeri (saniye);
 T_0 : Yanyoldan giren araçlar arasındaki minimum aralık değeri (saniye);
 T_{odom} : Hakim şeride ait minimum takip aralığı (saniye);
 T_{osub} : Hakim olmayan şeride ait minimum takip aralığı (saniye);
 T_{dom} : Hakim şeride ait kritik aralık kabul değeri (saniye);
 T_{sub} : Hakim olmayan şeritteki sürücülere ait kritik aralık kabul değeri (saniye);
 w_a : Yaklaşım kolunun yarı genişliği (m),
 w_{ad} : Ayırıcı ada genişliği (m);
 $w_ç$: Çıkış genişliği (m);
 w_d : Dönüş sahası genişliği (m);
 w_e : Yaklaşım kolun ağzında, kavşak dış kenarına dik olarak ölçülen açıklığı (m);
 w_w : örülme genişliği (m);
 Δ : Birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeri (saniye);
 α : Anaakım (dönen akım) içindeki serbest araç oranı (%);
 ϕ : Kesişme açısı (°);
 λ : Düzeltme katsayısı;

Kaynaklar

- [1] Drew, D. R., 1968, Traffic flow theory and control, *McGraw & Hill*, New York, 1968.
- [2] Hagring, O. Roundabout entry capacity, *Bulletin 135*. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund, 1996.
- [3] Janssens, R. Evaluating the performance of a roundabout, *CEEC's Training Seminar on Road Development and Safety for Managerial Staff from Central and Eastern European Countries*, Brussels, Belgium, October 3-14, 1994.

- [4] Akçelik, R., Roundabouts: Capacity and performance analysis, *ARRB Research report ARR 321*, Vermont, Australia, 1998.
- [5] SNRA, CAPCAL 2: Model description of Roundabouts. Borlänge: Swedish National Road Administration. Publication 1995:009E, 1995.
- [6] Hagring, O., Capacity Model for Roundabouts., Trevictor report 2003:7, Sweden, 2003.
- [7] Ouston, L. and Bared, J.G., Roundabouts, *Public Roads*, Turner Fairbank Highway research Center, Mclean, Virginia, USA, 1995.
- [8] Seim, K., Use, design and safety of small roundabouts in Norway, *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany, 270-281, 1991.
- [9] Simon, M., Roundabouts in Switzerland-recent experiences, capacity, Swiss roundabout guide, *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany, 41-52, 1991.
- [10] Wallwork, M.J., Modern roundabouts, *Roundabout Design Workshop*, Montpelier, Vermont, March 23, 1997.
- [11] Troutbeck, R., A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters, *Traffic Engineering & Control*, 38(11), 600-603, 1997.
- [12] Worhington, J. C., Roundabout design: a comparison of practice in the UK and France, *PTRC Transport, Highway and Planning Summer Annual Meeting*, University of Manchester, UK, 269-279, 1992.
- [13] Arıkan Öztürk, E.; Çubuk, M.K., Arslan, D.; Yüksel, E., Modern Dönel Kavşakların Kapasite ve Güvenlik Yönünden İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 917-926, 2007.
- [14] Pratelli, A., Design of modern roundabouts in urban traffic systems, *WIT Transactions on the Built Environment*, v 89, *Urban Transport XII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century*, p 83-93, 2006.
- [15] Ashworth, R. and Field, J.C., The capacity of rotary intersections, *The Journal of the Institution of Highway Engineers*, 3, 14-21, 1973.
- [16] Tanyel, S.; Baran, T.; Özuysal, M., Determining the capacity of single-lane roundabouts in Izmir, Turkey, *Journal of Transportation Engineering*, v 131, n 12, p 953-956, December, 2005.
- [17] Tanyel, S.; Baran, T.; Özuysal, M., Applicability of various capacity models for single-lane roundabouts in Izmir, Turkey, Turkey, *Journal of Transportation Engineering*, v 133, n 12, p 647-653, December, 2007.
- [18] Tanyel, S., Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- [19] Tanyel, S., Yayla, N., A discussion on the parameters of Cowan M3 distribution for Turkey, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(2), 129-143, 2003.
- [20] Aydemir, T. and Tanyel, S., Çok şeritli dönel kavşaklar üzerinde OD matrisinin etkisi. 6. *Ulaştırma Kongresi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 2005.

Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma

- [21] Troutbeck, R., Background of HCM section on analysis of performance of roundabouts, *Transportation Research Record*, 1646, 54-63, 1998.
- [22] Gedizlioğlu, E., Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1979.
- [23] Troutbeck, R. and Brilon, W., Unsignalized intersection theory, in *Traffic Flow Theory: A State of Art Report*, 8-1 - 8-44, Eds.Gartner, N., Messer, C.J & Rathi, A. K., 1995.
- [24] Sullivan, D. P. and Troutbeck, R., The use of Cowan's M3 distribution for modeling urban traffic flow, *Traffic Engineering & Control*, 35(7/8), 445-450, 1994.
- [25] Akçelik, R. and Chung, E., Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways, *Road & Transport Research*, 3, 42-59, 1994.
- [26] Troutbeck, R., A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters, *Traffic Engineering & Control*, 38(11), 600-603, 1997.
- [27] Luttinen, R. T., Statistical analysis of vehicle time headways, Teknillien korkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu, Otaniemi, 1996.
- [28] Luttinen, R. T., Properties of Cowan M3 headway distribution, *Transportation Research Board 1999 Annual Meeting Preprints*, TRB, Washington D.C., USA, 1999.
- [29] Hagring, O., Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity, *Bulletin 159*. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund, 1998.
- [30] Hagring, O. The use of Cowan M3 distribution for modelling roundabout flow, *Traffic Engineering & Control*, 37(5), 328-332, 1996.
- [31] Dawson, R.F. and Chimini, L.A., The Hyperlang probability distribution—a generalized traffic headway model., *Highway Research Record 230*, Highway Research Board, Washington DC, U.S.A., 1-14, 1968.
- [32] Troutbeck, R., The capacity of a limited priority merge, *Physical Infrastructure Centre Research Report 98-4*, Queensland University of Technology, School of Civil Engineering, Brisbane, Australia, 1998.
- [33] Kimber, R. M., The traffic capacity of roundabouts, *TRRL Laboratory Report 942*, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 1980.
- [34] Tanyel, S.; Özuysal, M.; Çalışkanelli, S.P.; Baran, T., Predicting a Suitable Capacity Estimation Method for Single-Lane Roundabouts in Izmir, Turkey", 11th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Proceedings of the EWGT2006 Joint Conferences, 405-410, İTALYA, Eylül 2006.
- [35] Akçelik, R., Roundabouts-Comments on the AASIDRA model and the TRL (UK) linear regression model, Akcelik and Associates Pty Ltd, Melbourne, Australia, 2007.