

Denetimsiz Kavşaklarda Yanyol Katılım Kapasitesinin Modellenmesi

S. Pelin ÇALIŞKANELLİ¹
Serhan TANYEL²

ÖZ

Denetimsiz kavşaklar, şehiriçi trafik akımının yönetilmesinde etkin olarak kullanılan kavşak tipleridir. Denetimsiz bir kavşakta yanyol katılım kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan hesap yöntemleri çoğunlukla analitik yöntemlere dayanmaktadır. Çalışma kapsamında yanyol katılım kapasitesinin hesaplanması amacı ile bir benzetim program yazılmış ve farklı koşullardaki yanyol katılımları için ampirik kapasite bağıntıları elde edilmiştir. Elde edilen bağıntılar literatürde yaygın olarak kullanılmakta olan bağıntılar ile karşılaştırılmış ve kullanılabilir oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denetimsiz kavşak kapasitesi, serbest araç oranı, benzetim programı.

ABSTRACT

Modelling Minor Approach Capacity of Unsignalized Intersections

Unsignalized intersections are effectively used in urban traffic management. Capacity calculation methods for unsignalized intersections' minor approach are usually based on analytical calculation methods. In this study, empirical capacity calculation equations are obtained by using a micro simulation program for different types of unsignalized intersections' minor approaches. Obtained empirical equations are compared with the models which are commonly used in literature and the applicability of the equations is determined.

Keywords: Unsignalized intersection capacity, proportion of free vehicle, simulation.

1. GİRİŞ

Farklı doğrultuda hareket etmekte olan trafik akımlarının ortaklaşa kullanmak zorunda oldukları, ışiksiz trafik işaretleri ile yönetilen yol kesimlerine denetimsiz kavşak adı verilir [1]. Şehiriçi trafik akımının yönetilmesinde büyük önemi olan denetimsiz kavşaklar, sinyalize kavşak ve dar boğazlar gibi gecikmelerin en sık gözlemlendiği yerlerdir.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 16.07.2014 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2016 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - pelin.caliskanelli@deu.edu.tr

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

Denetimsiz kavşakların düzenlenmesinde, kavşağa bağlanan yollardan birisi, hacim ya da geometrik özelliklerine göre diğerlerinden daha önemli kabul edilir ve “anyol” adını alır; diğeri ise yanyol olarak adlandırılır [1].

Denetimsiz bir kavşakta bir yanyol katılımının kapasitesi büyük ölçüde, yanyoldaki sürücülerin anyoldaki araçlar arasında buldukları aralıkları değerlendirerek kavşağa güvenli bir giriş yapmalarına bağlıdır. Denetimsiz kavşakların kapasite ve başarımları genel olarak iki ana hesap yöntemine dayanmaktadır:

- a) Kritik aralık kabul yöntemi (davranışsal yöntem);
- b) Regresyon analizi yöntemi.

Kritik aralık kabulü yönteminde denetimsiz kavşaklarda yanyol kapasitesinin bulunabilmesi; anyoldaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesi ve bu amaçla mümkün olduğunca basit bir modelin geliştirilmesine bağlıdır. Kritik aralık kabul yönteminin en önemli avantajlarından birisi, yöntem için gerekli olan verilerin düşük trafik akım koşulları altında da toplanabilmesidir. Bu, kritik aralık kabul yönteminin daha kolay uygulanmasını sağlamakta ayrıca düşük anaakım koşulları altında hesaplanan kapasite değerinin güvenilirliğini arttırmaktadır [2].

Ancak bazı araştırmacılar, kritik aralık kabulü yönteminin; a) çeşitli koşullarda kalkış süresinin, aralık kabulü değerine eşit olabileceği; b) çok şeritli yanyol katılımlarında ana akımların doğru olarak belirlenememesi; gibi sebepler yüzünden bazı dezavantajlarının olduğunu öne sürmüştür [3]. Bu sebeple, kritik aralık kabul yöntemini kullanmak yerine, arazide yapılan gözlemlerden yararlanarak; regresyon analizine dayalı ampirik bağıntılar geliştirmek farklı bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.

Tanyel ve Yayla [2] dönel kavşaklar üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda, regresyon analizi ile kritik aralık kabulü yöntemlerinin birbirlerine çok yakın doğrulukla gözlem verilerini tanımlayabildiklerini vurgulamışlardır. Kritik aralık kabul yöntemi, sürücülerin davranış farklılıklarını sağlıklı bir şekilde tanımlayabilmekle birlikte, oldukça detaylı veri girişine ihtiyaç duymaktadır. Sağlıklı veri toplanabilmesi için uzun süreli gözlemler yapılması gerekmektedir [3].

Diğeryandan, regresyon analizine dayanan ampirik bağıntılar üretilerek, sadece anaakıma ait taşıt sayımı yapılarak gerçeğe yakın kapasite değerleri elde edilebilmektedir. Ancak söz konusu ampirik bağıntıların elde edilebilmesi için, incelenen yanyol katılımlarında en az 30 dakika boyunca kuyruk gözlemlenmesi gerekmektedir ve bu durum her zaman mümkün olamayabilir [4].

Çalışma kapsamında her iki yöntemden de yararlanarak, yanyol katılım kapasitesini farklı koşullar için, pratik ve doğru olarak hesaplayabilen ampirik bağıntılar önerilmiştir. Çalışmada, ilk olarak kritik aralık kabul yöntemine dayalı hesap yöntemleri kısaca tartışılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise kritik aralık kabul yöntemine dayalı, ülkemiz sürücü özelliklerini de yansıtan bir benzetim programı geliştirilmiştir. Çalışmanın son kısmında ise, benzetim programı sonuçlarından yararlanarak; denetimsiz kavşaklarda yanyol katılımlarının kapasitelerinin hesaplanabilmesi için anyol şerit hacimlerine bağlı ampirik bağıntılar türetilmeye çalışılmış, elde edilen bağıntılar kritik aralık kabulü yöntemi ve HCM yöntemleri ile karşılaştırılarak geçerliliği araştırılmıştır.

2. KRİTİK ARALIK KABULÜNE DAYALI KAPASİTE HESAP YÖNTEMLERİ

Denetimsiz kavşaklarda bir yanyol bağlantısının kapasitesi en basit haliyle aşağıdaki şekilde bulunabilir [5]:

$$q_e = q_p \int_0^{\infty} f(t)g(t)dt \quad (1)$$

Burada q_e , yanyoldan girebilecek en yüksek araç sayısı (kapasite) (araç/saniye), q_p , anayoldaki trafik hacim değeri (araç/saniye); $f(t)$, anaakım içindeki aralıkların olasılık yoğunluk dağılımı ve $g(t)$ anaakım içindeki bir “t” aralığını kabul ederek kavşağa giriş yapabilecek araç sayılarının olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıklar iki farklı istatistik dağılım grubu kullanılarak tanımlanabilir: a) Basit istatistiksel dağılımlar: (negatif üssel; ötelenmiş negatif üssel, Erlang, Gamma, Log-Pearson Tip III, Lognormal gibi) b) Karmaşık istatistiksel dağılımlar (çiftüssel; Hyperlang, Cowan M3, Cowan M4; Yarı-Poisson) [5].

Kritik aralık kabul yöntemine göre anayolda hareket eden araçların zaman cinsinden aralık dağılımının negatif üssel dağılıma uyması durumunda, yanyol katılım kapasitesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir [6].

$$q_e = \frac{q_p e^{-q_p T}}{1 - e^{-q_p T_0}} \quad (2)$$

Burada q_e ve q_p , daha önce de belirtildiği gibi sırasıyla, yanyol kapasitesi (araç/saat) ve anayoldaki trafik hacim (araç/saat) değerleridir. “T”, yanyoldan anayola katılmaya çalışan araçların, anayoldaki araçlar arasında kabul edebilecekleri en uygun zaman cinsinden aralık değeri, “T₀” ise, yanyoldan kavşağa giriş yapan araçlar arasındaki en küçük takip aralığı değeridir. (2) bağıntısı, negatif üssel yerine ötelenmiş negatif üssel dağılım kullanıldığında ise aşağıdaki şekli almaktadır [7].

$$q_e = \frac{q_p(1 - \Delta q_p)}{e^{q_p(T - \Delta)} [1 - e^{-q_p T_0}]} \quad (3)$$

Burada Δ , anayolda birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değerini ifade etmektedir.

Denetimsiz kavşakların kapasitesinin hesaplanmasında en çok kullanılan karmaşık dağılımlardan birisi, Cowan M3 dağılımıdır [8]. Benzer şekilde anayoldaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık dağılımının Cowan M3 dağılımına uyduğu kabul edilmesi durumunda (2) bağıntısı aşağıdaki şekle dönüşür;

$$q_e = \frac{q_p \alpha e^{-\lambda(T - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (4)$$

Burada α , anaakım içindeki serbest araç oranını göstermektedir. λ ise dağılıma ait bir azaltma katsayısıdır. Hagring [9], anayolda birden fazla şerit bulunması durumu için

anayoldaki araçlar arasındaki aralıkların Cowan M3 dağılımı ile tanımlanabileceği kabulü ile, aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$q_e = \Lambda \prod_i \frac{\alpha_i q_{pi}}{\lambda_i} \frac{e^{-\Lambda T}}{e^{-\Lambda \Delta} (1 - e^{-\Lambda T_0})} \quad (5)$$

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

Serbest araç oranı (α), değişik trafik koşulları altında araçların birbirlerini takip etme şekilleri ile ilgili olması sebebiyle sürücü davranışlarındaki farklılıkları da gösteren bir parametre olarak kabul edilebilir. Değişik yol ve trafik yönetim koşulları altında α değeri önemli farklılıklar göstermektedir. Çeşitli araştırmacılar, α parametresi için değişik bağıntılar önermişlerdir [7, 10, 11, 12, 13]. Çalışkanelli ve Tanyel [14], sinyalizasyon arterleri üzerinde yaptıkları çalışmalarında, farklı şeritler için araçlar arasındaki serbest araç oranı değerlerinin aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunabileceğini belirlemişlerdir.

$$\text{Sağ ve orta şerit için} \quad \alpha = (1 - \Delta q) / (1 - (1 - 0,95) \Delta q) \quad (6)$$

$$\text{Sol şerit için} \quad \alpha = (1 - \Delta q) / (1 - (1 - 1,35) \Delta q) \quad (7)$$

3. BENZETİM MODELİ KURGUSU

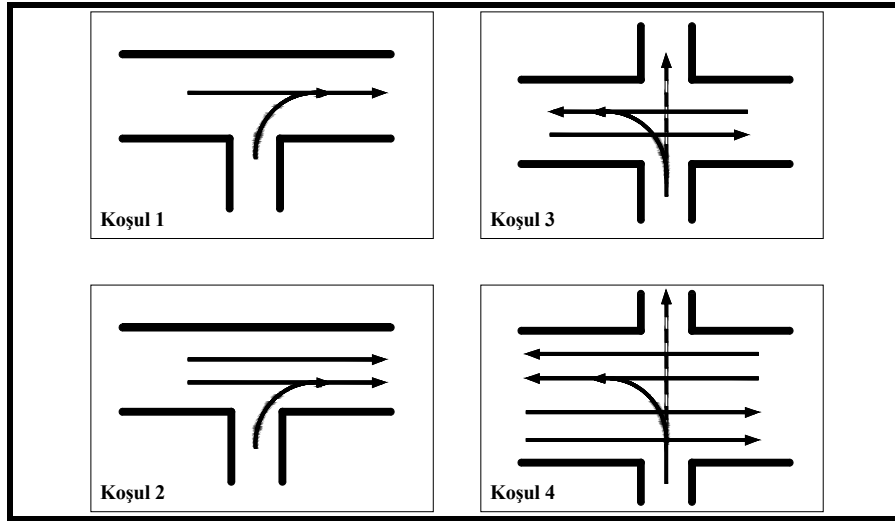
3.1. Benzetim Modelinin Genel Yapısı

Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, denetimsiz kavşaklarda yanyol katılım kapasitesini belirleyebilmek için kritik aralık kabulüne dayalı hesap yapmak istendiğinde, detaylı veri toplanması ve uzun süreli işlenmesi süreçlerinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bunun yanında regresyon analizi ile sağlıklı bir kapasite analizi yapabilmek için, en az 30 dakika boyunca yanyolda sürekli kuyrukta bekleyen araçların olması istenir [4]. Pratikte, bir yanyol katılım kapasitesinin hızlı ve gerçeğe en yakın şekilde hesaplanabilmesi uygulamada büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla geliştirilen modelin mümkün olduğunca az değişkene sahip olması; diğer yandan yeterli doğrulukta sonuç vermesi beklenir.

Son yıllarda birçok farklı koşulu bir arada inceleme imkanı vermesi açısından benzetim (simülasyon) programları trafik mühendisliği analizlerinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde, VISSIM, AIMSUN, TRANSYT, SimTraffic gibi birçok gelişmiş benzetim programı bulunmaktadır. Ancak bu programların ülkemiz koşullarını temsil edebilecek hale getirilebilmesi için (kalibre edilmesi veya ölçeklendirilmesi için) uzun süreli ve detaylı gözlem ve analiz sonuçlarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu çalışmada ise, pratikte uygulamada çalışan mühendislerce kullanılacak basit ancak ülkemiz koşullarını yansıtabilen bir modelin önerilmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle, yukarıda adı geçen benzetim programları yerine, denetimsiz bir kavşakta anaakım içindeki taşıtlar arasındaki zaman cinsinden aralıkları, dolayısıyla anaakım hacmini doğru modelleyen ve buna bağlı

olarak yanyol kapasitesini hesaplayan bir program yazılmıştır. Benzetim programının temeli Troutbeck [15] tarafından hazırlanan yine basit bir benzetim programına dayanmaktadır. Programda dikkate alınmış olan bazı hususlar ile yapılmış olan kabuller aşağıda sıralanmıştır:

- Program kapsamında yanyolda sadece *tek şerit* bulunduğu kabul edilmiştir.
- Anayolda, incelenen koşullara bağlı olarak bir ila dört şeridin bulunduğu düşünülmüştür. Buna göre, yanyoldan anayola katılacak bir sürücünün, Şekil 1 ve Tablo 1’de tanımlandığı şekilde anayoldaki diğer akımlarla etkileşim içinde olacağı öngörülmüştür. Tablo 1’de ayrıca, kavşağa giriş yapan yanyol akımının, hangi anayol akımlarından etkileneceği hakkında yapılan kabuller de belirtilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada dikkate alınan, anaakım-yanyol katılım şekilleri

Tablo 1. Çalışmada dikkate alınan, anaakım-yanyol katılım şekilleri

Manevra	Koşul	Anayoldaki Şerit Sayısı	Anayol Akımı	Engelleyici Akım				Kritik Aralık Kabul Değeri (t_c)	
				Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	$t_{c \min}$	$t_{c \max}$
Sağa Dönüş	Koşul 1	1	Tek Yön	X				3,0	6,0
	Koşul 2	2	Tek Yön	X	X			3,0	6,0
Sola Dönüş	Koşul 1	2	Çift Yön	X	X			5,0	8,0
	Koşul 2	4	Çift Yön	X	X	X		5,0	8,0
Doğru Geçiş	Koşul 1	2	Çift Yön	X	X	X		5,0	8,0
	Koşul 2	4	Çift Yön	X	X	X	X	5,0	8,0

- c) Ana akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıkların Cowan M3 dağılımına uydukları kabul edilmiştir.
- d) Yanyolda sürekli olarak kavşağa girmek için bekleyen ve anayol taşıtları arasındaki aralıkları (araya giriş aralığı "gap") gözleyen veya anayol taşıtının kavşağa olan uzaklığını (öne giriş aralığı "lag") değerlendirecek araçların bulunduğu öngörülmüştür.
- e) To değerinin 1.8 saniye ile 2.4 saniye arasında değiştiği kabulü yapılmıştır. T değerinin, sürücünden sürücüye geçeceği bilinmektedir. Yanyoldaki sürücülerin kabul ettikleri kritik aralık değerleri, bir dağılıma uygun olacaktır. Gedizlioğlu [1], bu değerlerin Erlang ve Lognormal dağılıma uydukları kabul edilmiştir. Dağılımın ortalamasının, sağa dönen araçlar için 3.0~6,0 saniye; sola dönen ve/veya doğru geçiş yapan araçlar için 5,0~8,0 saniye arasında değiştiği öngörülmüş ve buna göre kritik aralık kabul değerleri türetilmiştir [1]. Kritik aralık kabulü değerinin türetilmesi içinde, Dawson ve Chimni [16] tarafından önerilmiş olan aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır:

$$T = -\frac{k}{(T_{ort} - \Delta)} \ln \left(\prod_{i=1}^k r_i \right) \quad (8)$$

Burada k , Erlang Dağılımına ait şekil parametresi; r_i , 0 ile 1 arasında rastgele türetilen sayılar; T_{ort} , kritik aralık kabulü değerlerinin ortalaması; T , türetilen kritik aralık kabulü değeridir. Fessman [17], " k " değerinin "5" olarak alınmasını önermiştir. Gedizlioğlu'nun [1] çalışmasında ise bu değer, yanyoldan sola dönüş yaparak yakın akımı kesip geçen ve uzak akıma katılan sürücüler için "7", yanyoldan doğru geçiş yapan sürücüler için "6", anayoldan sola dönüş yapan sürücüler için ise "8" olarak hesaplanmıştır. Çalışmada, ülkemiz koşullarını temsil etmesi açısından " k " değeri "7" olarak alınmıştır.

- f) Ana akımda bir şerit olması durumunda bu şeritten en yüksek 1200 araç/saat, iki veya daha fazla şerit olması durumunda ise bir şeritten en yüksek 750 araç/saat trafik hacminin geçtiği kabul edilmiştir.
- g) Şeritlerdeki serbest araç oranlarının hesaplanması amacıyla Çalışkanelli ve Tanyel [14] tarafından önerilmiş olan (6) ve (7) bağıntıları kullanılmıştır.
- h) Ana akıma ait zaman cinsinden aralık değerlerinin elde edilmesi için Hagring [9] tarafından tanımlanmış "n-şeritli süperpoze dağılım" kullanılmıştır. Dağılımın temelini tek şeritli akım için kullanılan Cowan M3 dağılımı oluşturmaktadır. Dağılımın olasılık dağılım fonksiyonu " $H(t)$ ", aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$H(t) = 1 - \beta_n \cdot e^{-\Lambda(t-\Delta)}, t \geq \Delta \quad (9)$$

$$\beta_n = \frac{\Lambda}{Q} \prod_i \frac{q_i \cdot \alpha_i}{\lambda_i} \quad (10)$$

Burada $Q = \sum_i q_i$, $\Lambda = \sum_i \lambda_i$, α_i , i 'inci şeritteki akım içindeki serbest araç oranı, q_i , i 'inci şeritteki araç sayısı (araç/saniye), λ_i ise i 'inci şerite ait " λ " katsayısıdır.

- i) Bir zaman cinsinden aralık değerinin altında kalma olasılığının "H(t)" yerine, 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı konulduğu takdirde, bu rastgele değere karşılık gelen zaman cinsinden aralık değeri (t) aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilmektedir:

$$t = \Delta - \frac{\ln\left(\frac{Rnd}{\beta_n}\right)}{\Lambda} \quad (11)$$

Burada *Rnd*, 0 ile 1 arasında rastgele atanmış bir değerdir.

Benzetim programına ait genel akış şeması Şekil 2’de sunulmuştur.

3.2. Benzetim Programının Kalibrasyonu (Ölçeklendirilmesi)

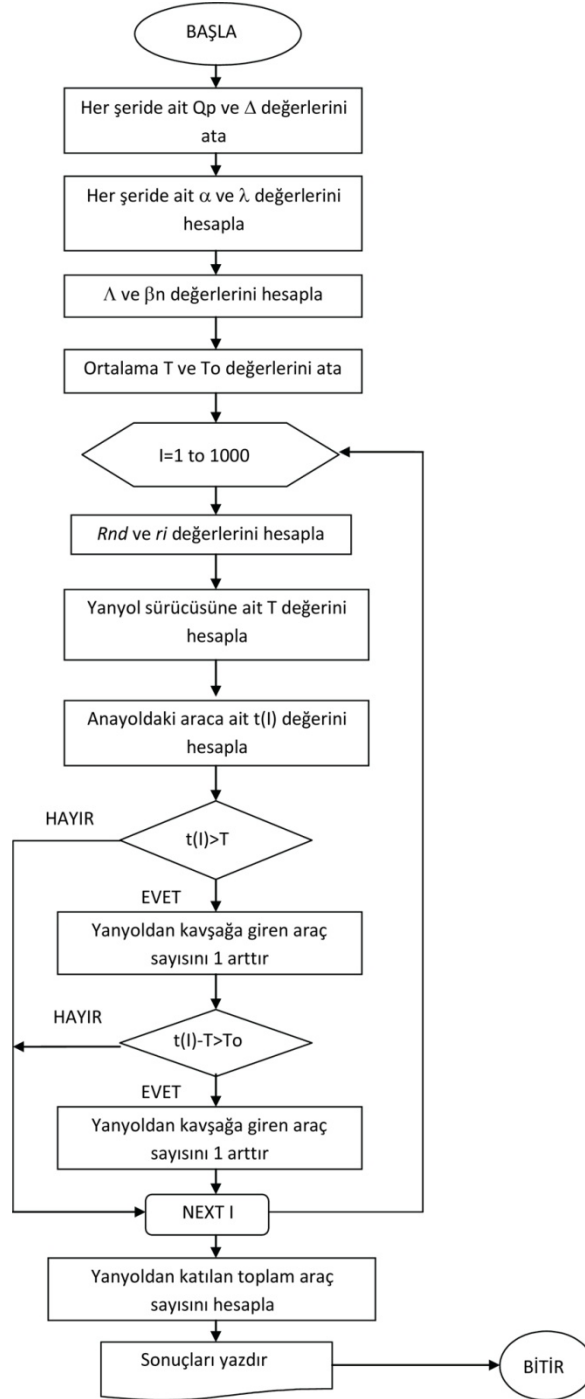
Hazırlanan benzetim programının geçerliliğinin test edilmesi amacıyla iki denetimsiz kavşakta gözlemler yapılmıştır (Şekil 3). Bu kavşaklara ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Her iki kavşakta, yanyolda kuyruk bulunan toplam 114 dakikalık veri elde edilmiştir (Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesinden 32 ve 34 dakikalık iki veri grubu; Buca Mezarlık’tan ise 48 dakikalık bir veri grubu elde edilmiştir). Bu değerler, saatlik akım oranlarına çevrilerek benzetim programına aktarılmıştır. Gözlem yapılan tarihlerde, kavşaklarda trafik ışığı bulunmamaktadır.

Anaakıma ait gözlemlenen trafik akım oranları ile benzetim programından elde edilen değerlerin karşılaştırılması Şekil 4’te sunulmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi benzetim programı, anaakım hacmini yüksek bir oranda temsil edebilmektedir. Şekil 5’te ise, gözlemlenen ve benzetim programından elde edilen kapasite değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Benzetim programı sonuçları, kavşaklarda yapılan gözlem verilerine yakın sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar, benzetim programının, denetimsiz kavşaklarda yanyol kapasitesinin hesaplanması amacıyla bir ampirik model geliştirilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

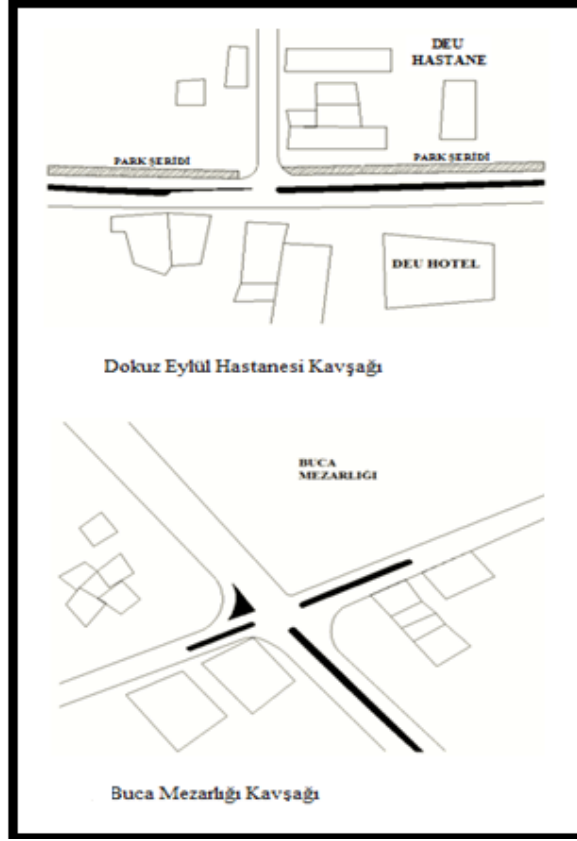
Tablo 2. Gözlem yapılan kavşaklara ait özellikler

Kontrol Tipi	Kavşak Tipi	Kavşak Adı	Yaklaşım Adı	Giriş Şeridinin Sayısı (n _e)	Giriş Şeridinin Genişliği (w _e) (m)	Ada Genişliği (w _{median}) (m)	Dönüş Şeridi	Dönüş Cebi
Dur Kontrollü	T- Kavşak	Dokuz Eylül Hastanesi	Narlıdere Yaklaşımı (Batı Yaklaşımı)	2	6.60	2.80	SLD (30 m)	--
			Fahrettin Altay Yaklaşımı (Doğu Yaklaşımı)	2	6.60	3.50	--	--
			DEU Hastanesi Acil Yaklaşımı (Kuzey Yaklaşımı)	1	3.00	1.50	--	--
Kontrolsüz	Dört Kolu Kavşak	Buca Mezarlığı	DEU Hukuk Fakültesi Yaklaşımı (Kuzeybatı Yaklaşımı)	1	3.50	1.60	--	--
			DEU Tınaztepe Kampüsü Yaklaşımı (Güneydoğu Yaklaşımı)	1	3.00	1.60	--	--
			Esil Yurdu Yaklaşımı (Güneybatı Yaklaşımı)	2	5.70	2.00	--	--
			Buca Mezarlığı Yaklaşımı (Kuzeydoğu Yaklaşımı)	1	3.00	--	--	SD

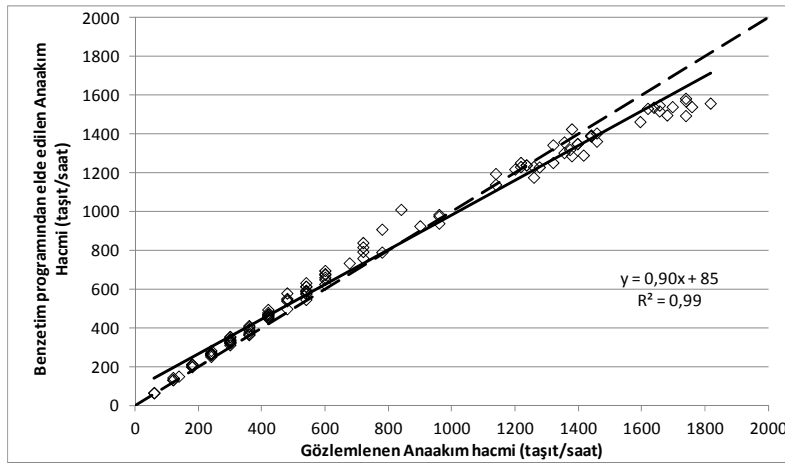
SLD, sola dönüş cebini, SD sağa dönüş cebini ifade etmektedir.



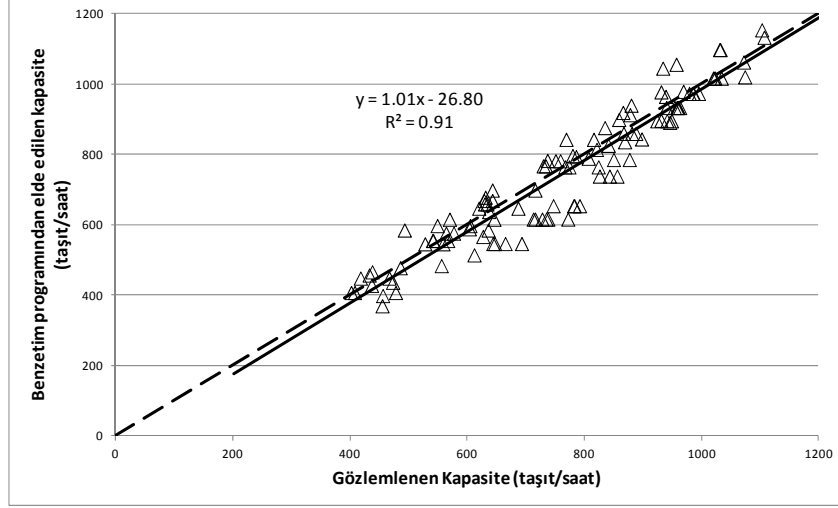
Şekil 2. Benzetim programı akış şeması



Şekil 3. Gözlem Yapılan Kavşaklar



Şekil 4. Anaakıma ait gözlemlenen trafik akım oranları ile, benzetim programından elde edilen değerlerin karşılaştırılması



Şekil 5. Gözlemlenen ve benzetim programından elde edilen kapasite değerlerinin karşılaştırılması

4. BENZETİM PROGRAMI SONUÇLARINDAN YARARLANARAK ELDE EDİLEN AMPİRİK BAĞINTILAR

Daha öncede belirtildiği gibi çalışmanın temel amacı, benzetim programı sonuçlarından yararlanarak, basit ve doğru sonuç veren ampirik bağıntıların elde edilmesidir. Bu amaçla, benzetim programı çıktıları regresyon analizi yardımıyla değerlendirilmiş ve farklı koşullar için aşağıdaki yanyol kapasite bağıntıları elde edilmiştir (Tablo 3).

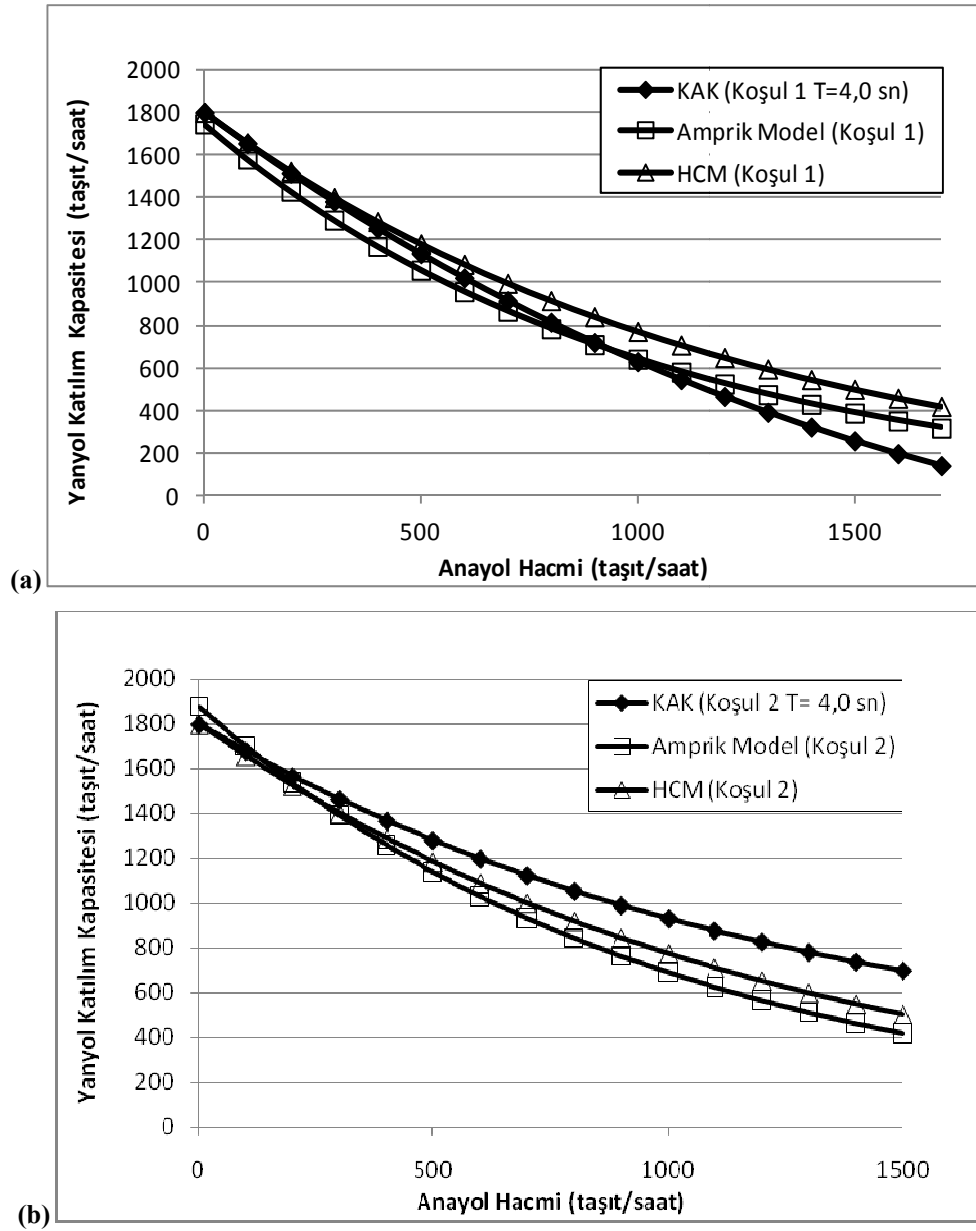
Tablo 3. Benzetim programı sonuçlarına göre elde edilen modeller

Koşul	İterasyon Sayısı	Model	
Koşul 1	981	$Q_e = 1474 e^{-0,001Q_p}$	$R^2 = 0,71$
Koşul 2	6860	$Q_e = 1879 e^{-0,001Q_p}$	$R^2 = 0,71$
Koşul 3	6860	$Q_e = 1927 e^{-0,002Q_p}$	$R^2 = 0,83$
Koşul 4/1	48020	$Q_e = 2064 e^{-0,002Q_p}$	$R^2 = 0,79$
Koşul 4/2	191909	$Q_e = 2106 e^{-0,002Q_p}$	$R^2 = 0,79$

* Q_p :Anayol Hacmi (taşıt/saat)

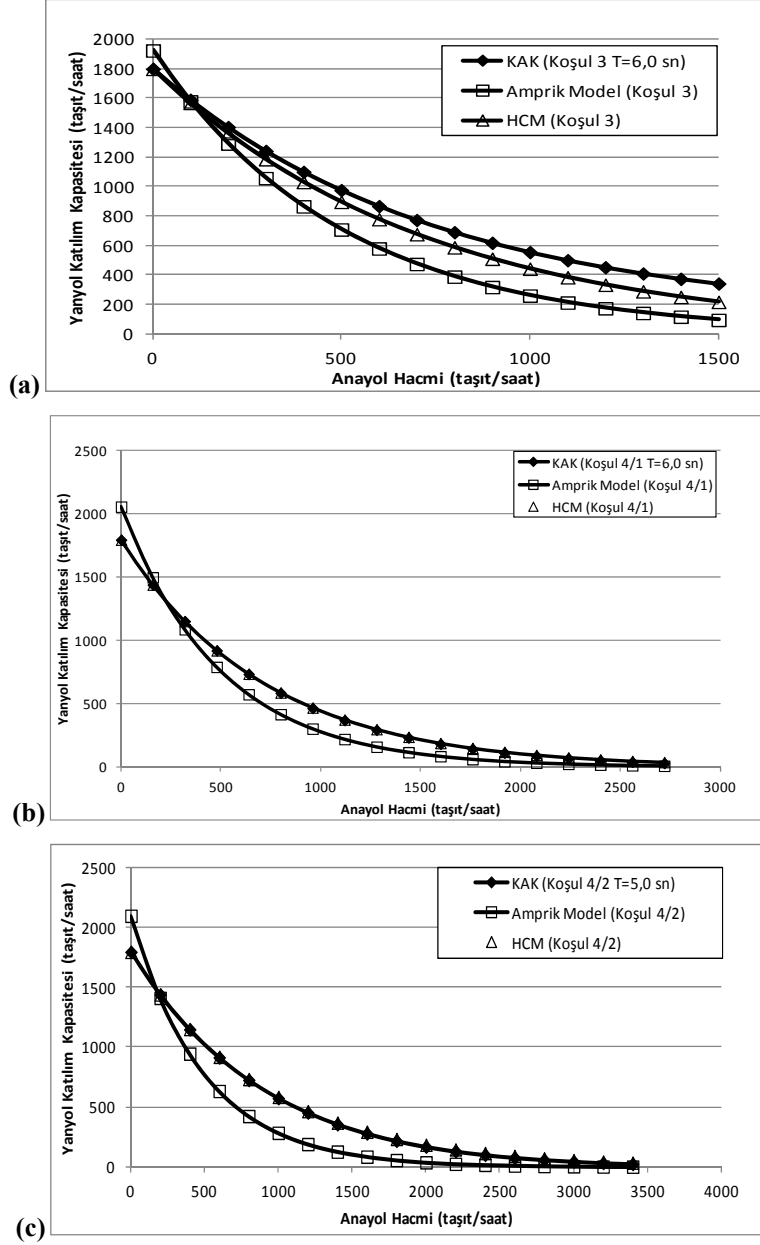
Tablo 3’de koşul tipleri ve bağıntıları verilmiş olan ampirik modeller, Hagring tarafından önerilmiş olan (5) bağıntısı ile “Highway Capacity Manual” (HCM) [6] tarafından

önerilmiş olan (2) bağıntısı ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda elde edilen grafikler Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6. Koşul 1 (a) ve Koşul 2 (b) için önerilen modellerin Hagring ve HCM bağıntıları ile karşılaştırılması

Denetimsiz Kavşaklarda Yanyol Katılım Kapasitesinin Modellenmesi

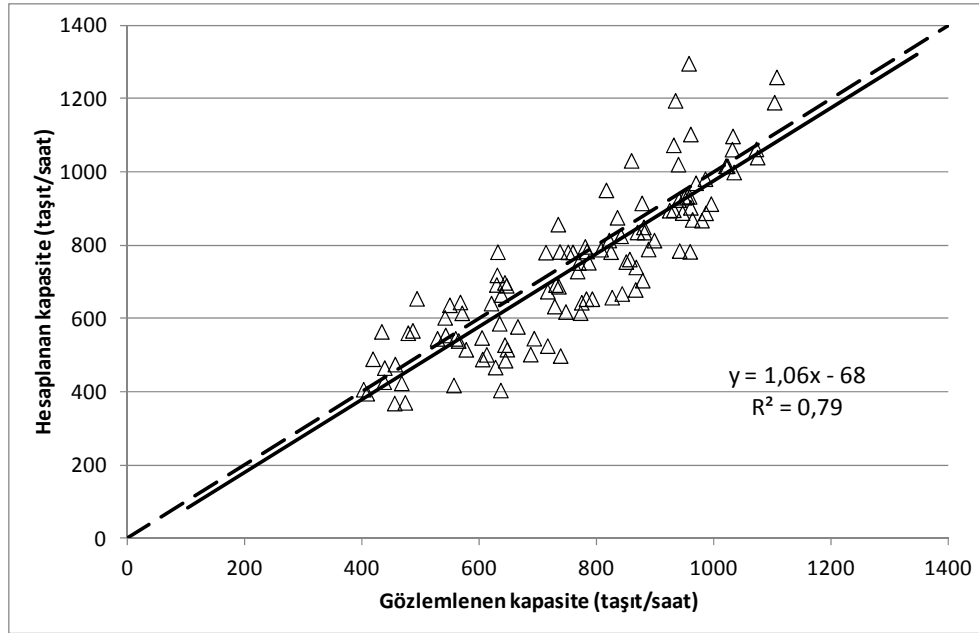


Şekil 7. Koşul 3, Koşul 4/1 ve Koşul 4/2 için önerilen modellerin Hagring ve HCM bağıntıları ile karşılaştırılması

Şekillerde Hagring bağıntısının sonuçları kısaca KAK (kritik aralık kabulü), “Highway Capacity Manual” bağıntısı ise HCM olarak gösterilmiştir. Hesaplamalarda serbest araç oranları Çalışkanelli ve Tanyel tarafından önerilmiş olan (6) ve (7) bağıntıları ile hesaplanmıştır. Kritik aralık kabul değerleri sağa dönen sürücüler için 4,0 sn, sola dönen sürücüler için 6,0 sn ve doğru geçen sürücüler için 5,0 sn kabul edilmiştir. Yanyoldaki tüm sürücülere ait takip aralığı değeri (To) 2,0 sn alınmıştır.

Şekil 5 ve 6 incelendiğinde ampirik bağıntıların, özellikle anayol hacminin 0~100 taşıt/saat olması durumunda KAK ve HCM modellerine göre daha yüksek kapasite değerleri verdikleri; ancak 100 taşıt/saat’ten sonra hesaplanan kapasite değerlerinin daha düşük oldukları görülmektedir.

HCM modeli, Koşul 1 ve Koşul 3 dikkate alındığında, ampirik bağıntılara daha yakın sonuçlar vermiştir. Koşul 1 ve 3’te, yanyoldan kavşağa giriş yapan sürücüler, sadece tek veya kendilerine en yakın şeritteki zaman cinsinden aralıkları gözlemleyerek kavşağa giriş yapmaktadırlar. Diğer bir deyişle, sadece tek bir şeritteki trafik akımından etkilenmektedirler. Ancak anayoldaki şerit sayısı arttıkça (Koşul 4/1 ve Koşul 4/2) veya doğru geçiş ve sola dönüş manevralarında birden fazla şeritteki trafik akımlarından etkilenmeleri durumunda, HCM ve KAK modellerinin sonuçlarının birbirleriyle neredeyse örtüştüğü görülmüştür. Bu HCM bağıntısında negatif üssel dağılımın kullanılmasının bir sonucudur.



Şekil 8. Gözlemlerle, bağıntılardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Şerit sayısı arttıkça HCM ile KAK modellerinden elde edilen sonuçların örtüşmesinin ana sebebi negatif üssel dağılımın, şerit bazında hacimlerdeki değişikliği tanımlamak açısından uygun bir dağılım olmamasından kaynaklanmaktadır. En zayıf yönlerinden birisi, aynı şeritteki araçların birbirlerini “sıfır saniye” aralıklarla takip edebileceklerinin kabul edilmesidir ki, gerçekte bu mümkün değildir. Ancak birden fazla şerit olması durumunda, farklı şeritlerden geçen araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin “sıfır” olması mümkündür ve anayolda birden fazla şerit bulunması durumunda negatif üssel dağılımın kullanılabilirliği artmaktadır. Bu konu ile ilgili olarak detaylı bilgi Gedizlioğlu [1] ve Tanyel’in [8] çalışmalarından elde edilebilir.

Tablo 3’te verilen bağıntıların geçerliliği hakkında daha sağlıklı bir fikir edinebilmek amacıyla D.E.Ü. Hastane ve Buca Mezarlık kavşaklarında yapılan gözlemlerle, bağıntılardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 8). Karşılaştırma sonucunda, bağıntıların, araziden elde edilmiş olan kapasitelere yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, denetimsiz kavşakların farklı koşullar altındaki yanyol katılım kapasitelerini belirleyebilmek amacıyla, kiritik aralık kabul yöntemine dayanan bir benzetim programı geliştirilmiştir. Benzetim programı sonuçlarından yararlanılarak, uygulamada kullanılabilecek basit ampirik bağıntılar elde edilmiştir ve elde edilen bağıntılar HCM ve kritik aralık kabul yöntemi bağıntısı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Anaakım içinde birden fazla şerit bulunması durumunda yanyol katılımlarının kapasitelerinin hesaplanmasında negatif üssel dağılım ile Cowan M3 dağılımı çok yakın sonuçlar vermektedirler. Ancak Cowan M3 dağılımı trafik akımı hakkında daha tanımlayıcı bilgiler içerdiğinden (serbest araç oranı, minimum takip aralığı değeri gibi) sistemin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesi açısından tercih edilebilir. Yine de ilk yaklaşım olarak hesap kolaylığı açısından negatif üssel dağılımın kullanılması uygun kabul edilebilir.
- Yanyoldaki sürücülerin kavşağa girişte yaptıkları manevranın (sola veya sağa dönüş, veya doğru geçiş), kapasite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Beklenildiği gibi, sağa dönüş manevrasının kapasitesi, diğerlerine göre daha yüksektir. Özellikle sola dönüş yapan araçlara ait kapasite değerinin önemli oranda düştüğü söylenebilir.
- Çalışma kapsamında elde edilmiş olan ampirik bağıntılar, KAK ve HCM modellerine göre daha düşük kapasite değerleri vermekle birlikte sonuçların birbirlerine yakın olduğu söylenebilir. Özellikle her üç bağıntıdan da elde edilmiş olan sağa dönüş kapasite değerleri birbirine çok yakındır. Bu bağıntıların pratikte, özellikle kavşak tasarımında ilk yaklaşım adımı olarak, kullanılmasının mümkün olduğu düşünülmektedir.

Çalışmanın sonuçlarının, farklı kentlerden (kavşaklardan) toplanacak veriler ile test edilmesi, bağıntıların güvenilirliğini arttıracaktır. Ayrıca çalışmada ağır araç etkisi dikkate

alınmamıştır. İleride yapılacak çalışmalarda ağır araç etkisinin incelenmesinde büyük yarar görülmektedir.

Semboller

q_e	: yanyoldan girebilecek en yüksek araç sayısı (araç/saniye)
q_p	: anayoldaki trafik hacim değeri (araç/saniye)
$f(t)$: anaakım içindeki aralıkların olasılık yoğunluk dağılımı
$g(t)$: anaakım içindeki "t" aralığını kabul ederek kavşağa giriş yapabilecek araç sayılarının olasılık yoğunluk fonksiyonu
α	: akım içindeki serbest araç oranını
q	: saniyede geçen araç sayısı
t	: araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değeri
λ	: düzeltme katsayısı
Δ	: birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeri
T	: yanyoldan anayola katılmaya çalışan araçların, anayoldaki araçlar arasında kabul edebilecekleri en uygun zaman cinsinden aralık değeri
T_0	: yanyoldan kavşağa giriş yapan araçlar arasındaki en küçük takip aralığı değeri
q_{pi}	: "i"inci şeride ait trafik akımı
λ_i	: "i"inci şeritteki akıma ait λ katsayısı
α_i	: "i"inci şeritteki serbest araç oranı
Λ	: λ değerlerinin toplamı
k	: Erlang Dağılımına ait şekil parametresi
r_i	: 0 ile 1 arasında rastgele türetilen sayılar
T_{ort}	: kritik aralık kabulü değerlerinin ortalaması

Kaynaklar

- [1] Gedizlioğlu, E., Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 1979.
- [2] Tanyel, S ve Yayla, N. Yuvarlakada Kavşakların kapasiteleri üzerine bir tartışma, TMMOB-İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, 21 (101) 4935-4958, 2010.
- [3] Stuwe, B. Capacity and safety of roundabouts in Germany, Intersections Without traffic SignalsII, Brilon, W.; Bochum, Germany, Springer-Verlag, 1991.

- [4] Troutbeck, R., Background of HCM section on analysis of performance of roundabouts, Transportation Research Record, 1646, 54-63, 1998.
- [5] 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.
- [6] Transportation Research Board (TRB), 2000. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board of National Academies, Washington D.C.
- [7] Tanner, J. C., A Theoretical analysis of delay at uncontrolled intersections, Biometrika, 49(1-2), 163-170, 1962.
- [8] Tanyel, S., Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- [9] Hagring, O., Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity, Bulletin 159. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund, 1998.
- [10] Sullivan, D.P., Troutbeck, R., An exponential relationship for the proportion of free vehicles on arterial roads, Transportation Research Part A, 31(1), 21-33, 1997.
- [11] Brilon, W., Intersections without traffic signals, Recent Developments in Calculation Methods for Unsignalized Intersections in West Germany, (Brilon W. ed.), 111-153, Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- [12] Akçelik, R. Speed-flow and bunching relationships for uninterrupted flows. Proceedings of 25th Conference of Australian Institute of transportation Research (CAITR 2003), University of South Australia, Adelaide, Australia 2003.
- [13] Troutbeck, R., A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters, Traffic Engineering & Control, 38(11), 600-603, 1997.
- [14] Çalışkanelli, S.P. ve Tanyel, S., Investigation of vehicle bunching at signalized arterials in Turkey, Canadian Journal of Civil Engineering, 37(3), 380-388, 2010.
- [15] Troutbeck, R., 1998a. The capacity of a limited priority merge, *Physical Infrastructure Centre Research Report 98-4*, Queensland University of Technology, School of Civil Engineering, Brisbane, Australia
- [16] Dawson, R. F., Chimini, L.A., The Hyperlang probability distribution: A generalized traffic headway model, Highway Research Record, 230, 1-14, 1968.
- [17] Fessman, F., Unsignalized intersection simulation model INTERSIM, Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals, Portland, Oregon, 1997.