



## COWAN M3 DAĞILIMININ TRAFİK AKIMLARININ MODELLENMESİNDE KULLANIMI

### (USE OF COWAN M3 DISTRIBUTION IN MODELLING TRAFFIC FLOW)

Serhan TANYEL\*, Çetin VARLIORPAK\*

#### ÖZET/ABSTRACT

Uzun yıllar boyunca trafik mühendisleri, trafik akımlarının karakteristiklerini modellemenin yollarını aramışlardır. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden birisi, istatistiksel metotlarla, elde edilen verilerin değerlendirilmesidir. Ancak burada karşılaşılan en önemli sorun, verileri tanımlayan ve kolay uygulanabilir bir dağılımın kullanılmasıdır. Cowan M3 dağılımı, bu özellikleri büyük oranda karşılaması nedeniyle dünyada trafik akımlarının modellenmesinde kullanılmaktadır.

Çalışmada, bu amaçla Cowan tarafından geliştirilmiş olan ve dünyada özellikle dönel kavşak içinde dönen akımların arasındaki zaman cinsinden aralıkların tanımlanmasında kullanılan Cowan M3 dağılımı tanıtılmaya çalışılmış ve bir veri grubu üzerinde denenerek; geçerliliği araştırılmıştır (Cowan, 1975).

*For long years traffic engineers try to find a way to model traffic flow characteristics. One of the methods used for this purpose is evaluating the obtained data by using statistical methods. However, the most important problem is to find a distribution that defines the data properly and also can be applied very easily. Because it meets these properties Cowan M3 distribution is widely used in modeling traffic flows.*

*In this study, the distribution, which is developed by Cowan (1975) and mostly used to define the headways between the turning vehicles at roundabouts, is tried to be introduced and its validity is investigated by using real data.*

#### ANAHTAR KELİMELELER/KEY WORDS

Zaman cinsinden aralık dağılımları, Cowan M3 dağılımı, Parametre tahmini, Kapasite  
*Headway distributions, Cowan M3 distribution, Parameter estimation, Capacity*

---

\* Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü, İZMİR

## 1. GİRİŞ

Trafik mühendislerinin karşılaştıkları en önemli güçlüklerden biri, trafik akımlarının modellenmesi tasarımıdır. Bu amaçla seçilen modelin, basit, uygulanabilir ve örnek veri grubunu mümkün olan en iyi şekilde tanımlayabilmesi gerekmektedir.

Trafik akımlarının modellenmesinde genel olarak iki ana modelleme tekniği kullanılmaktadır:

1. Makroskopik Modeller
2. Mikroskopik Modeller

Makroskopik Model, trafiğin genel karakteristikleri olan hız ( $v$ ), yoğunluk ( $k$ ) ve hacme ( $q$ ) bağlı olarak tanımlanmasıdır. Bu şekilde bir tanımlamada, akım bir bütün olarak ele alınır ve belirli zaman aralıklarında araç sayımları, hız ölçümleri ve/veya yoğunluk ölçümleri yapılarak, trafik akımı karakterize edilmeye çalışılır.

Mikroskopik model ise, yol üzerindeki taşıtların hareketlerinin tanımlanmasıdır (Luttinen, 1996). Burada, her aracın ayrı ayrı davranışları ele alınmakta ve taşıt hareketinin bazı genel karakteristikleri incelenmektedir. Trafik hacminin düşük olduğu durumlar dışında her taşıtın hareketi, önündeki araçla sınırlanmaktadır. Bu sınırlamalar, araç hareketlerinin temel karakteristikleriyle ilgili olduğundan, araç takibi teorisi kullanılarak incelenebilir (Inose vd., 1975).

Her iki modelde de bazı istatistiksel incelemelerin yapılması zorunludur. Makroskopik modellerde, Poisson, Binom veya Negatif Binom dağılımları kullanılırken; Mikroskopik Modellerde, Negatif Üssel, Ötelenmiş Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III gibi dağılımlar kullanılmaktadır. Son yıllarda mikroskopik modellerde kullanılan diğer önemli bir istatistiksel dağılım ise Cowan M3 dağılımıdır.

Çalışmada, mikroskopik modeller üzerinde durulmuş; özellikle Avustralya ve İsveç'te sinyalizasyon olmayan kavşakların performansının incelenmesinde kullanılan Cowan M3 dağılımı incelenmiş ve bir örnek üzerinde ülkemizde kullanım olanakları üzerinde durularak araştırma yapılmıştır.

## 2. MİKROSKOPİK MODELLER

### 2.1. Tanım

Mikroskopik Modeller, her taşıtın hareketini ayrı olarak incelediklerinden daha karmaşık olarak kabul edilebilirler. Bu nedenle mikroskopik modeller, trafik mühendisleri açısından büyük önem taşımaktadır. Bir taşıtın hareketinin tahmin edilmesinde değişik sürücü davranışları sebebiyle çok sayıda değişkenle ilgilenilmesi gerekmektedir. Bu değişkenler içerisinde en önemli parametre birbirini takip eden taşıtlar arasındaki aralıktır. Birbirini takip eden araçlar arasındaki aralık ise ikiye ayrılabilir.

1. Mesafe cinsinden aralık,
2. Zaman cinsinden aralık.

Mesafe cinsinden aralık ( $s$ ), "i" aracının ön tamponu ile takip eden "i+1" aracının ön tamponu arasındaki mesafedir (Şekil 1 a). Zaman cinsinden aralık ( $t$ ) ise, "i" aracının ön tamponun belirli bir noktayı geçtiği anla, takip eden "i+1" aracının ön tamponunun aynı noktayı geçtiği an arasındaki zaman farkıdır (Şekil 1.b). Zaman cinsinden aralık değeri, mesafe cinsinden aralık değerine oranla çalışmalarda daha fazla dikkate alınmaktadır. Bunun sebebi şu şekilde sıralanabilir.

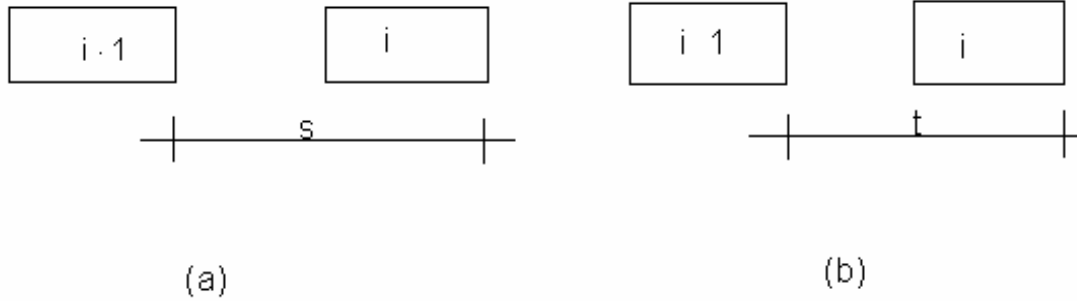
a- Zaman cinsinden aralık (t) değerleri ile hacim (q) değeri arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır.

$$q = \frac{1}{t} \quad (1)$$

Benzer bir ilişki yoğunluk ile zaman cinsinden aralık arasında da bulunmaktadır. Ancak hacim değeri, trafiği tanımlamak için daha anlamlı ve daha kolay ölçülebilir bir parametredir.

b- Takip eden sürücü, güvenlik sebebiyle önündeki araçla arasında belirli bir mesafe bırakmak zorundadır. Bu mesafe, sürücünün reaksiyon süresi ile yakından ilişkilidir. İki araç arasındaki mesafenin uzunluğundan daha çok, iki araç arasındaki süreyi tahmin etmek daha kolaydır.

c- Mesafe cinsinden aralık değeri, hız sabit kabul edilerek hız ve zaman cinsinden aralık değerleri yardımıyla hesaplanabilir (Luttinen, 1996).



Şekil 1. Mesafe ve zaman cinsinden aralıklar

## 2.2. Zaman Cinsinden Aralıkların İncelenmesinde Kullanılan İstatistiksel Dağılımlar

Araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin istatistiksel olarak incelenmesi, taşıt hareketlerinin tanımlanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Sinyalize kavşaklarda taşıt etkileşimleri, her yaklaşım koluna veya taşıt manevrasına ait faz sürelerinin ayarlanmasıyla minimuma indirgenebilmektedir. Fakat sinyalize olamayan kavşaklarda sürücüler, kavşağı kullanan diğer sürücülere bağlı olarak yapacakları manevrayı belirlemek zorundadırlar.

Bu durum, dönel kavşaklarda daha da önem kazanmaktadır. Türkiye’de trafik yönetmeliğinde bulunan kurala göre dönel kavşaklarda geçiş üstünlüğü dönen araca aittir (Dünyadaki uygulama da hemen her ülkede aynıdır). Dönel kavşağa girmek isteyen sürücü, ancak kavşak içinde dönüş hareketinde bulunan araçlar arasından uygun bir aralık bulunduğu kavşağa giriş yapabilecektir. "Kritik aralık kabulü" olarak adlandırılan bu durum, Avustralya, İsveç gibi dönel kavşakların büyük oranda yer aldığı ülkelerde, kavşak kapasitesinin tespitinde kullanılan modellerinin temelini teşkil etmektedir. Burada, kavşak içinde dönüş hareketinde bulunan araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin dağılımı büyük önem taşımaktadır.

Zaman cinsinden aralık değerlerinin istatistiksel olarak modellenmesi, iki ana başlık altında toplanabilir.

1. Basit İstatistiksel Modeller,
2. Karmaşık İstatistiksel Modeller.

Basit istatistiksel modellere örnek olarak Negatif Üssel, Ötelenmiş Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson TipIII, Lognormal dağılımlar gösterilebilir. Karmaşık istatistiksel modellere ise Hypereksponensiyel, Hyperlang, M/D/1 kuyruk modeli, Genelleştirilmiş Kuyruk Modeli ve Yarı-Poisson dağılımları gösterilebilir.

Basit istatistiksel modellere örnek olarak Pearson Tip III dağılımı gösterilebilir. Bu dağılımın Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu ( $f(t)$ ), aşağıda verilmiştir.

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(K)} [\lambda(t - \Delta)]^{K-1} e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad (2)$$

Burada

$f(t)$  :Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu;

$\lambda$  :Ortalama aralık değeri ile kullanıcı tarafından belirlenen K ve a parametrelerinin bir fonksiyonu,

$K$  :Dağılımın şeklini etkileyen ve kullanıcı tarafından seçilen, 0 ile  $\infty$  arasında değişen bir parametre,

$\Delta$  :Kullanıcı tarafından seçilen, sıfır ya da daha büyük bir değer alan, dağılımın ötelenmesini etkileyen bir parametre (saniye),

$t$  :İncelenen aralık değeri (saniye),

$\Gamma(K)$ :(K-1)!'e denk Gamma Fonksiyonudur.

Aslında Pearson Tip III dağılımı, bir dağılım ailesi olarak kabul edilebilir ve K ile  $\Delta$  parametrelerine bağlı olarak daha basit dağılımlar haline dönüştürülebilir. Bunlardan ilki Gamma dağılımı olarak adlandırılan dağılımdır.  $\Delta$  değerinin sıfır olması ( $\Delta=0$ ), K'nın pozitif herhangi bir değer alması halinde Pearson Tip III dağılımı, Gamma dağılımı adını almakta ve aşağıdaki Denklemlerle ifade edilmektedir (May, 1990).

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(K)} (\lambda t)^{K-1} e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Gamma dağılımındaki K değerinin birer tam sayı olması halinde ise Erlang dağılımı elde edilir.

$$f(t) = \frac{\lambda}{(K-1)!} (\lambda t)^{K-1} e^{-\lambda t} \quad (4)$$

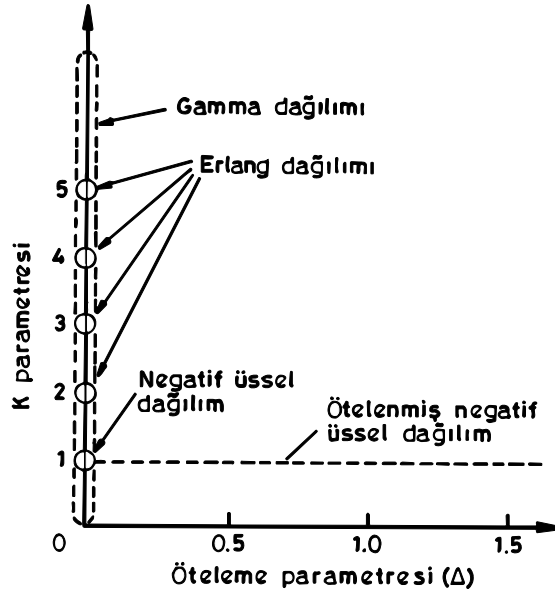
$K=1$  ve  $\Delta = 0$  olması halinde ise dağılım, negatif üssel dağılım halini almaktadır.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (5)$$

$K=1$  ve  $\Delta>0$  olması durumunda ise dağılım, ötelenmiş negatif üssel dağılım halini almaktadır. Bu dağılım, özellikle zaman cinsinden aralık değerlerinin sıfır olamayacağı göz önüne alındığında, rasgele zaman cinsinden aralık durumunda geçerlilik kazanmaktadır (May, 1990).

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad (6)$$

Şekil 2’de,  $\Delta$  ve K katsayılarına bağlı olarak yukarıda belirtilen dağılımların yerleri görülmektedir.



Şekil 2.  $\Delta$  ve K katsayılarına bağlı olarak dağılımların grafiksel gösterimi (May, 1990)

Teorik zaman cinsinden aralık modellerinin değerlendirilmesinde üç unsur dikkate alınmaktadır.

1. Uygunluk,
2. Kullanılabilirlik,
3. Geçerlilik (Luttinen, 1996).

Trafik mühendisleri, özellikle kullanılabilirlik açısından negatif üssel ve ötelenmiş negatif üssel dağılımları tercih etmektedirler. Ancak, diğer iki unsurun da dikkate alınması, yeni ve kullanımı basit bir dağılım ihtiyacını doğurmaktadır.

### 3. COWAN M3 DAĞILIMI

Bir zaman cinsinden aralık modelinin, trafik akımının karakteristiklerini ve bir kavşağa yaklaşan araçların zaman cinsinden aralık dağılımlarını doğru bir biçimde tanımlayabilecek şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Cowan, zaman cinsinden aralık değerini ( $t$ ) aşağıdaki şekilde ifade etmektedir (1975).

$$t = v + u \quad (7)$$

Burada

$v$ : Birbirini takip eden ve grup halinde hareket eden araçlar arasındaki aralık,

$u$ : Serbest hareket eden araçlar arasındaki aralık, değerlerini ifade etmektedir.

Bir akım içerisinde, grup halinde hareket eden araçlar olabileceği gibi, akımdan bağımsız olarak hareket eden araçların da olabileceği (kırmızı ışıktan sonra hareket eden araçlar örnek olarak gösterilebilir: Kırmızı ışıktan bekleyen en öndeki araçlar, kendi seçtikleri bir hızla

hareket edebilirler, fakat arkalarındaki araçlar, belirli bir süre hızlarını öndeki araçlara göre ayarlamak zorundadırlar. Burada ilk hareket eden araçlar, akımdan bağımsız hareket eden araçlardır) göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla bir trafik akımındaki araçların zaman cinsinden aralıkları modellenmek istendiğinde, her iki durumu da göz önüne alacak bir istatistiksel modelin uygunluğunun araştırılması gerekmektedir.

Bu bilgiler ışığında Cowan, dört zaman cinsinden aralık modeli üzerinde incelemeler yapmıştır (Cowan, 1975). Bu modellerin Olasılık Dağılım Fonksiyonları " $F(t)$ ", aşağıda verilmektedir.

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ = 1 - e^{-\lambda t} & t \geq 0 \end{cases} \quad (M1) \quad (8)$$

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ = 1 - e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{cases} \quad (M2) \quad (9)$$

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ = 1 - (1 - \theta)e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{cases} \quad (M3) \quad (10)$$

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ = \theta B(t) + (1 - \theta) \int_0^t B(t-u) \lambda e^{-\lambda u} du & t \geq 0 \end{cases} \quad (M4) \quad (11)$$

Burada

$B(t)$ :birbirini takip eden araçların kümülatif dağılım fonksiyonu,

$\theta$  :trafik akımında grup halinde hareket eden araç sayısı,

$\lambda$  :düzeltme katsayısı,

$\Delta$  :birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeridir.

$\lambda$  değeri aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir.

$$\lambda = \frac{q\alpha}{1 - q\Delta} \quad (12)$$

M1 modeli, negatif üssel dağılımdır. Bu durum, gözlem noktasına gelen araçların gelişlerinin Poisson dağılımına uyduğunu göstermektedir. Bu durumda araçlar arasında gruplaşma olmayacak ve zaman cinsinden aralık değerinin " $v$ " bileşeni sıfır olacaktır.

M2 dağılımı, ötelenmiş negatif üssel dağılımdır. Burada  $\Delta$  değeri, birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeridir. Zaman cinsinden aralık değerlerinin serbest bileşeninin dağılımı daha sonra negatif üssel dağılıma uygun olarak kabul edilebilir. Takip zaman cinsinden aralık değerinin "0" alınması, kaydırılmış negatif üssel dağılımı, negatif üssel dağılıma çevirir. (Sullivan vd., 1994)

M3 ve M4 dağılımları ise iki aşamalı zaman cinsinden aralık modelleridir. Bunlardan M3 modeli, takip zaman cinsinden aralık değerini, M2 Denklemiyle aynı tanımlamaktadır. Bu modelde, zaman cinsinden aralık değerinin serbest bileşeni karışık bir dağılım olarak tanımlanmaktadır. Dağılımın ilk kısmı,  $t$  olasılığıyla sıfıra eşittir ve ikinci kısmı ise negatif üssel dağılıma uymaktadır. Cowan, bu dağılımın trafik modellenmesinde özel bir uygulamasının olabileceğini öne sürmüştür. M3 dağılımında,  $\theta$  oranındaki araçların, öndeki araçların arkasında bir  $\Delta$  aralığıyla dizildiğini kabul etmektedir. Bu araçlara grup halinde

hareket ediyor, kabul edilebilirler. Akım içindeki diğer araçlar ise serbest bir şekilde ve  $\Delta$  aralığından daha büyük zaman cinsinden aralıklarla hareket etmektedirler ve serbest hareket eden araçlar olarak tanımlanırlar. Bu, yoldaki trafik akımının bir seri grup ve aralık olarak tanımlanabilmesini sağlamaktadır. Grup halinde hareket eden araçların akım içindeki oranı sıfır olduğunda, model M2 modeline indirgenmektedir. (Sullivan vd., 1994)

M4 modeli, M3 modelinin daha da genelleştirilmiş şeklidir. Burada, birbirini takip eden araçların arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri bir genel dağılıma uydurulmuştur. Birbirini takip eden araçların kümülatif dağılım fonksiyonu aşağıdaki değerleri aldığında model M3 modeline dönüşmektedir (Sullivan vd., 1994).

$$\begin{aligned} B(t) &= 0 & T < \Delta \\ B(t) &= 1 & T \geq \Delta \end{aligned} \quad (13)$$

Cowan, M4 modelinin M3 modeline oranla daha gerçekçi olduğunu ancak M3 modelinin birçok durumda daha geçerli olabileceğini belirtmiştir (Cowan, 1975).

Burada dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri, seçilen dağılımın kullanılma sebebidir. Eğer, çok kısa zaman cinsinden aralık değerleri modellenmek isteniyorsa, Hyperlang gibi bir dağılımın kullanılması daha uygun olabilir. Daha uzun zaman cinsinden aralık değerleri ile ilgileniliyorsa, Cowan M3 dağılımı, uygun bir dağılım olarak kabul edilmektedir (Troutbeck, 1997; Akçelik vd., 1994; Sullivan vd., 1994; Hagring, 1996).

Çalışmalarda, özellikle sinyalizasyon olmayan kavşaklarda ana akım içerisindeki araçlar arasındaki daha uzun sayılabilecek zaman cinsinden aralık değerlerinin dağılımlarının bilinmesi, yan yol kapasitesinin tespit edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

### 3.1. Dağılımın Parametrelerinin Belirlenmesi

Cowan M3 dağılımının kullanılmasına karar verildikten sonra yapılacak ilk işlem, dağılımın parametrelerini tahmin etmektir. Dağılım parametreleri genel olarak iki şekilde hesaplanabilir:

1. Momentler metodu,
2. Maksimum olabilirlik metodu.

#### 3.1.1. Momentler Metodu

Momentler metodunda, ortalama zaman cinsinden aralık değeri ile zaman cinsinden aralık değerlerinin varyansı kullanılmaktadır. Bu değerler daha sonra, gözlenen değerlere uygun bir Cowan M3 modeli oluşturabilmek için bulunan dağılımın ortalama ve varyansının gözlenen ortalama ve varyansla aynı olacak şekilde kabul edilirler.

Ortalama zaman cinsinden aralık (M), trafik akımının tersi olarak kabul edilmektedir. Bu aşağıdaki Denklemden daha detaylı olarak açıklanabilir.

$$M = \frac{1}{q} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (14)$$

Yukarıdaki ifadenin integrali alınarak, ortalama zaman cinsinden aralık aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$M = \Delta + \frac{\alpha}{\lambda} \quad (15)$$

Gözlem verilerinin ikinci momenti alınarak, zaman cinsinden aralık değerlerinin varyansı aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$V = \frac{\alpha(2-\alpha)}{\lambda^2} \quad (16)$$

Denklem 15 ve 16 kullanılarak, gözlem verilerinden de yararlanmak suretiyle  $M$  ve  $V$  değerleri belirlendikten sonra, seçilen bir  $\Delta$  değeri için  $\lambda$  ve  $\alpha$  değerleri hesaplanabilir.

### 3.1.2. Maksimum Olabilirlik Metodu

Maksimum Olabilirlik yöntemine göre parametrelerin tahmini aşağıdaki prosedüre göre yapılmıştır. Cowan M3 dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonun aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir.

$$f(t) = (1 - \alpha) \quad t = \Delta \quad (17)$$

$$f(t) = \alpha \lambda e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad t > \Delta \quad (18)$$

Olabilirlik fonksiyonu ( $l$ ), yukarıdaki fonksiyonların da ışığında aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$l = \prod_{t=\Delta} (1 - \alpha) \prod_{t>\Delta} \alpha \lambda e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad (19)$$

Logaritmik olabilirlik fonksiyonu ise

$$l^* = \sum_{t=\Delta} (\ln(1 - \alpha)) + \sum_{t>\Delta} (\ln \lambda + \ln \alpha - \lambda(t_i - \Delta)) \quad (20)$$

$$\frac{\partial l^*}{\partial \lambda} = 0 \text{ olduğundan}$$

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\sum_{t>\Delta} t_i / n - \Delta} \quad (21)$$

bulunur.  $\lambda$  parametresi, yukarıdaki Denklemden hesaplanabildiğine göre, üç parametreden biri sabit tutularak, diğer parametre Denklem 12'den hesaplanabilmektedir. Burada  $\Delta$  değerinin sabit tutulması öngörülmektedir. Bunun nedeni, parametreler içinde trafik hacmine en az bağımlı olan parametrenin  $\Delta$  olduğu görülmektedir. Çalışmalar  $\Delta$  değerinin 1.5 saniye ile 2.5 saniye arasında değiştiğini göstermektedir (Hagring, 1998). Bu değer Avustralya Kapasite Analiz Modeli SIDRA'da ve İsveç kapasite Analiz Modeli CAPCAL'da 1.8 saniye olarak hesaplara katılmaktadır (Akçelik, 1998; Statens, 1995).



Bu hesaplamaların sonuçlarının kritik aralık kabulü yöntemiyle kapasite hesaplarında da kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple incelenmesi gereken zaman cinsinden aralık değerleri, kritik aralık değerine eşit veya daha büyük aralık değerleridir. Eğer yukarıdaki Denklem

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\sum_{t>\xi} t_i / n - \xi} \quad (22)$$

şeklinde yazılırsa, Burada  $\xi$ ,  $\Delta < \xi < T$  aralığında değişen herhangi bir zaman cinsinden aralık değeri olup;  $T$ , kritik aralık kabulü değeridir.  $\lambda$  değeri, örneğin sadece  $\xi$  değerinden daha büyük değerlere sahip olduğu kısmı için hesaplanmaktadır.

#### 4. COWAN M3 DAĞILIMI İLE, İKİ ŞERİTLİ BİR YOLDAKİ TRAFİK AKIMLARININ ZAMAN CİNSİNDEN ARALIKLARININ TEMSİL EDİLMESİ

Birden fazla dönüş şeridinde sahip bir dönek kavşakta, Cowan M3 dağılımına göre birinci ve ikinci dönüş şeridindeki zaman cinsinden aralıkların oluşma olasılığı aşağıda sırayla gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} F_1(t) &= 0 & t < 0 \\ &= 1 - \alpha_1 e^{-\lambda_1(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} F_2(t) &= 0 & t < 0 \\ &= 1 - \alpha_2 e^{-\lambda_2(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{aligned} \quad (24)$$

Burada

$\alpha_1, \alpha_2$ : Şeritlerdeki serbest araç oranı,

$\Delta$ : Grup halinde hareket eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeri,

$\lambda_1, \lambda_2$ : Düzeltme katsayıları,

değerlerini tanımlamaktadır.

Denklemlerde verilen azaltma faktörleri ( $\lambda_1, \lambda_2$ ), Denklem 12'den hesaplanabilir. Burada  $a, l, q$  şeride ait değişkenlerdir. Bu koşullar altında, her akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralığın (Troutbeck, 1991).

$$F(t) = 0 \quad T < 0 \quad (25.a)$$

$$F(t) = 2\beta t \quad 0 < t < \Delta \quad (25.b)$$

$$F(t) = 1 - \alpha' \quad t = \Delta \quad (25.c)$$

$$F(t) = 1 - \alpha' e^{-\lambda'(t-\Delta)} \quad t > \Delta \quad (25.d)$$

şeklinde ifade edilebileceğini tanımlamıştır.

Yukarıda

$$\alpha' = \frac{\alpha_1 q_1 (1 - \Delta q_2) + \alpha_2 q_2 (1 - \Delta q_1)}{q_1 + q_2} \quad (26)$$

$$\beta = \frac{q_1 q_2}{q_1 + q_2} \quad (27)$$

$$\lambda' = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (28)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Bir ve iki şeritli zaman cinsinden aralık dağılımları, gerçek zaman cinsinden aralık değerlerine olan yaklaşımlardır. Gözlenmiş olan dağılıma ancak deneysel doğruluk sınırları içerisinde uymaktadır. Aralık kabulü prosedürleri ancak, uzun aralıkların doğrulukla tanımlanabilmesini öngörmektedir. Daha kısa aralıklar sadece not edilmektedir (Troutbeck, 1991).

Birleştirilmiş bir zaman cinsinden aralık dağılımı aşağıdaki şekilde bir tekil Cowan M3 dağılımı ile ifade edilebilir:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < \Delta^* \\ 1 - \alpha^* e^{-\lambda'(t-\Delta^*)} & t \geq \Delta^* \end{cases} \quad (29)$$

İfadelerdeki  $\alpha^*$  ve  $\Delta^*$  değerleri, doğru oranlar ve doğru ortalama aralık değerleri elde edilecek şekilde seçilmelidir. Bu, her iki şeritten de elde edilen "t" en büyük zaman cinsinden aralık sayısının, 1-F(t)'ye eşit olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle

$$(1 - \Delta^* q_1 - \Delta^* q_2) \cdot e^{\lambda' \Delta^*} = (1 - \Delta q_1)(1 - \Delta q_2) \cdot e^{\lambda \Delta} \quad (30)$$

ve

$$\alpha^* e^{\lambda' \Delta^*} = \alpha' e^{\lambda \Delta} \quad (31)$$

yazılabilir. Bu denklemler, başlangıç olarak  $\Delta^*_1$ 'in  $\Delta$ 'ya eşit olduğu kabul edilerek yapılan iteratif hesaplarla çözülebilir.  $\Delta^*_{i+1}$  olarak tanımlanan ve  $\Delta^*_1$ 'den daha iyi sonuç veren değer, aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir.

$$\Delta^*_{i+1} = \frac{1 - (1 - \Delta q_1)(1 - \Delta q_2) e^{-\lambda'(\Delta - \Delta^*_i)}}{q_1 + q_2} \quad (32)$$

Yukarıdaki bilgiler ışığında, iki şeritli bir dönel kavşağa bağlanan tek şeritli bir yolun, kapasite Denklemi ise, aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$q_{e \max} = \frac{\alpha^* (q_1 + q_2) e^{-\lambda'(T - \Delta^*)}}{1 - e^{-\lambda' T_o}} \quad (33)$$

Burada

$q_{e \max}$  :Kavşağa bağlanan kolun kapasitesi,

$q_1, q_2$  :Dönüş şeritlerinden birim zamanda geçen araç sayısı,

$T$  :Kritik aralık kabulü değeri (saniye),

$T_o$  :takip aralığı (saniye),

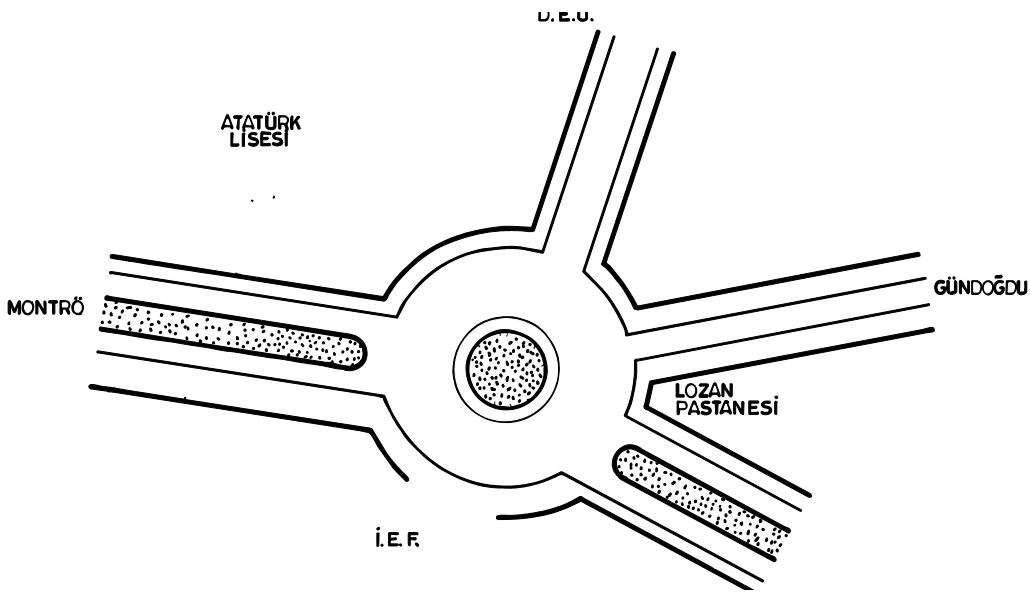
değerlerini ifade etmektedir.

## 5. COWAN M3 DAĞILIMININ UYGUNLUĞU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ BİR ÇALIŞMA

Çalışmada, seçilen bir kavşağın, trafik hacmi en yoğun olan yaklaşımında yapılan gözlem verileri kullanılarak; Cowan M3 dağılımının, ülkemiz yollarındaki trafik akımlarının modellenmesinde kullanılıp kullanılmayacağı irdelenmiştir.

### 5.1. Gözlem Yapılan Kavşağın Tanıtımı

Çalışmada, İzmir Lozan Meydanı Kavşağında gözlem yapılmış, özellikle Alsancak Garı yaklaşımındaki akımda bulunan araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri üzerinde durulmuştur. Kavşağın planı Şekil.3'te verilmektedir.



Şekil.3. Lozan meydanı kavşağı

Alsancak Garı yaklaşımının incelenmesinin en önemli nedeni, bu koldaki akım değerinin oldukça yüksek olması ve dolayısıyla kavşak kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamasıdır. Özellikle İzmir'in iki büyük ilçesi Karşıyaka ve Bornova'dan şehir merkezine gelen özel araçlarla otobüslerin büyük bir kısmı, bu hat üzerinden geçmektedir.

Bu kavşağın incelenmesinin diğer bir sebebi ise, kavşağın bir yuvarlak ada kavşak olması ve mevcut çalışma durumunda, kavşak kapasitesinin belirlenmesinde "kritik aralık kabulü" metodunun etkin olarak kullanılabilmesidir.

### 5.2. Gözlemlerin Yapılışı

Çalışmada gözlemler, hafta içinde bir Çarşamba günü, öğle ve akşam pik saatlerinde yapılmıştır. Trafik akım değerleri sayılarak, en yoğun trafik akımının bulunduğu 15 dakika dikkate alınmış ve bu 15 dakikaya ait zaman cinsinden aralık değerleri ölçülerek; modelin uygunluğu bu değerler üzerinde irdelenmiştir.

### 5.3. Gözlem Verilerinin Değerlendirilmesinde Dikkate Alınan Hususlar

Cowan M3 dağılımı, küçük zaman cinsinden aralık değerlerinin modellenmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu da güvenlik testlerinde uygun sonuçlar vermeyeceğini göstermektedir (Luttinen, 1999). Cowan M3 dağılımının üstünlüğü, gözlenen dağılımların özellikle kuyruk kısımlarının tanımlanmasında iyi sonuçlar vermesidir (Hagring, 1998). Bu da, Cowan M3 dağılımının uygunluğu araştırılırken, özellikle büyük zaman cinsinden aralıkları temsil edip edemeyeceğinin araştırılmasını gerektirmektedir. Burada taşıtların, genellikle birbirlerinden bağımsız hareket ettikleri düşünülebilir.

Troutbeck, 4 saniyeden daha büyük değerlerde araçların birbirlerinden bağımsız hareket ettiklerinin kabul edilebileceğini; 2 saniye ile 4 saniye arasında da bu tanımlamanın yapılabilmesinin oldukça güç olduğunu belirtmiştir (Troutbeck, 1997). Yapılan çalışmalar, kavşağa girmek isteyen sürücülerin kabul ettikleri aralıkların 4 saniye civarında olduğunu göstermiştir (Akçelik, 1998). Sullivan ve Troutbeck, 4 saniye üzerindeki aralık değerleri için kalıntıların varyansı (variance of residuals) metoduyla elde edilen sonuçların, dağılımın kullanılabilirliği hakkında fikir verebildiğini öne sürmüşlerdir (Sullivan ve Troutbeck, 1994).

### 5.4. Gözlem Verilerinin Değerlendirilmesi

Lozan Meydanı Kavşağı, Alsancak Garı yaklaşımında bulunan iki şeritteki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri incelenerek, Çizelge 1'de görülen istatistiksel momentler hesaplanmıştır:

Çizelge1. Lozan Meydanı Kavşağı Alsancak Garı Yaklaşımı Gözlem Verilerinin İstatistiksel Momentleri

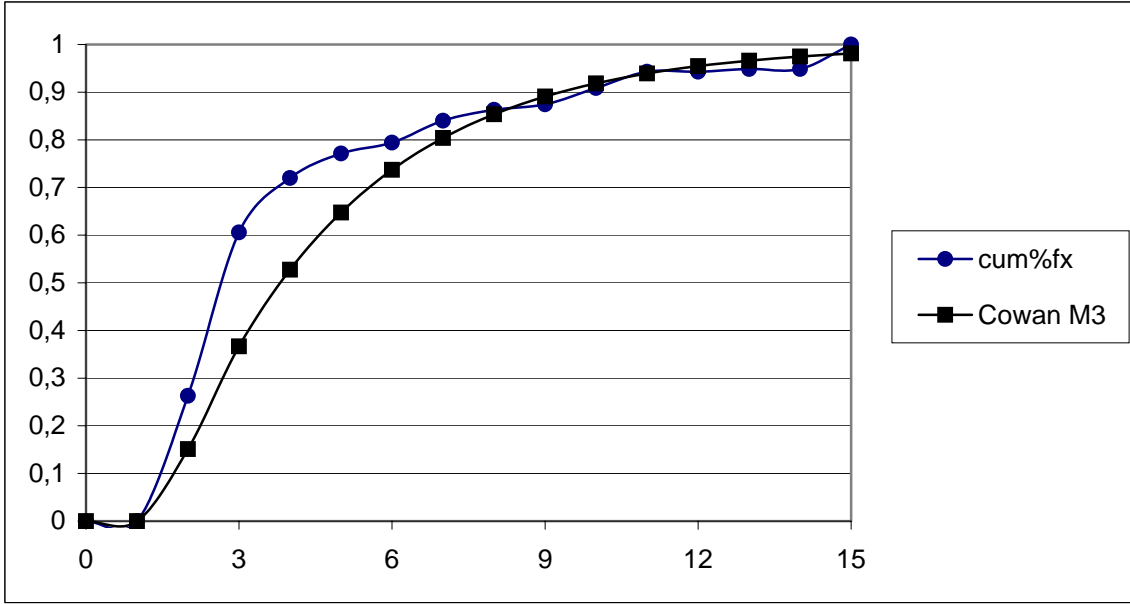
Şerit	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık
Sağ	7.070	58.570	2.624	7.108
Sol	4.855	11.677	1.834	2.539

Çizelgeden de görülebildiği gibi, sağ şeritten elde edilmiş olan verilerin ortalama ve varyansı, sol şeritten elde edilmiş verilerin ortalama ve varyansından daha büyüktür. Bu da sağ şeritteki aralık değerlerinin, sol şeritteki aralık değerlerinden daha geniş bir aralıkta değiştiğini; dolayısıyla sol şeritten daha fazla sayıda araç geçtiğini göstermektedir. Bu bilgiler ışığında, sağ şeritteki araçların en kısa takip süreleri 2.5saniye; sol şeritteki araçların en kısa takip süreleri ise 1.5 saniye olarak seçilmiştir. İki şeride ait serbest araç oranı " $\alpha$ " ile " $\lambda$ " katsayılarının değerleri, Çizelge 2'de gösterilmektedir.

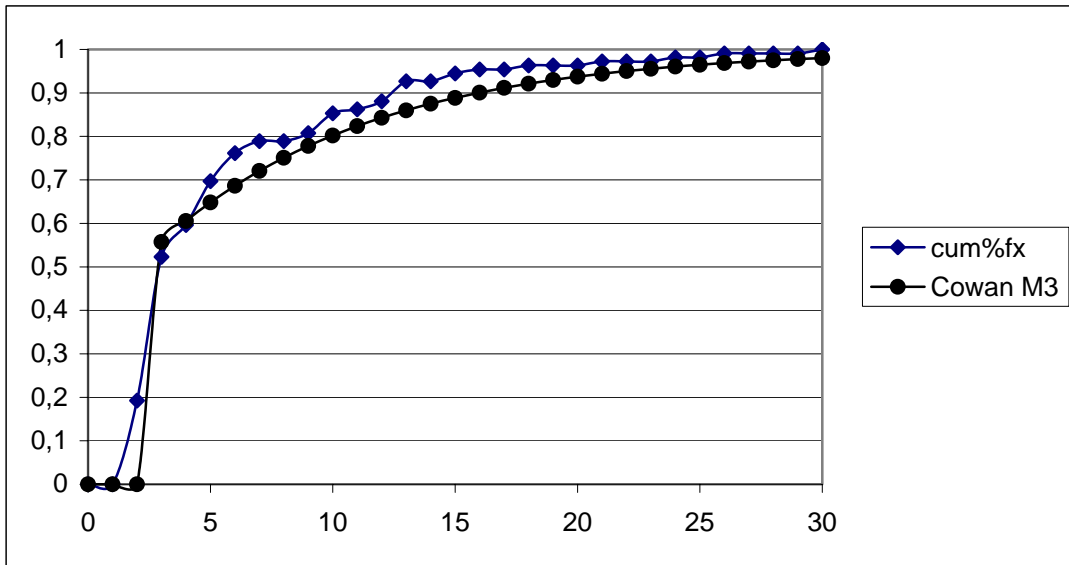
Çizelge 2. Şeritlere ait  $\Delta$ ,  $\alpha$  ve  $\lambda$  Değerleri

Şerit	$\Delta$	$\alpha$	$\lambda$
Sağ	2.5	0.526	0.115
Sol	1.5	0.293	0.983

Gözlenen kümülatif aralık frekansı ile, Cowan M3 dağılımının olasılık dağılım fonksiyonunun grafik gösterimleri, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

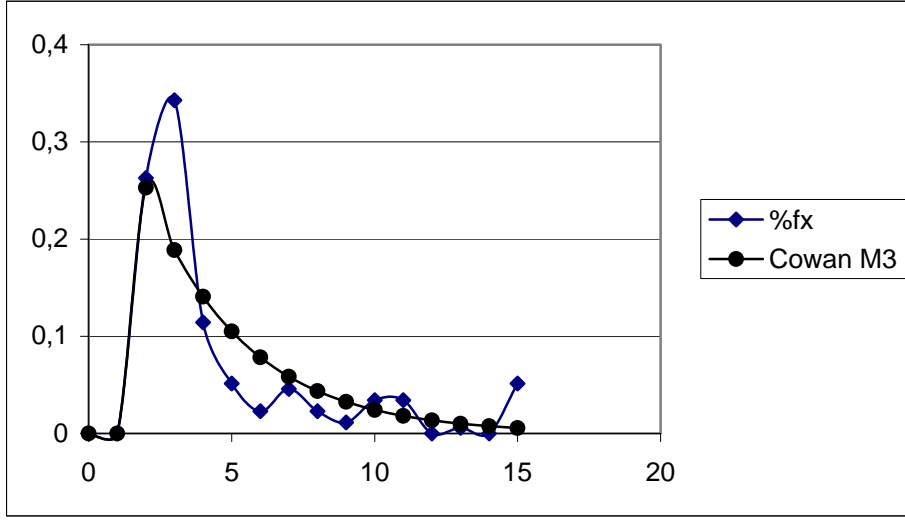


Şekil.4. Lozan meydanı sol şerit için kümülatif dağılım eğrisi

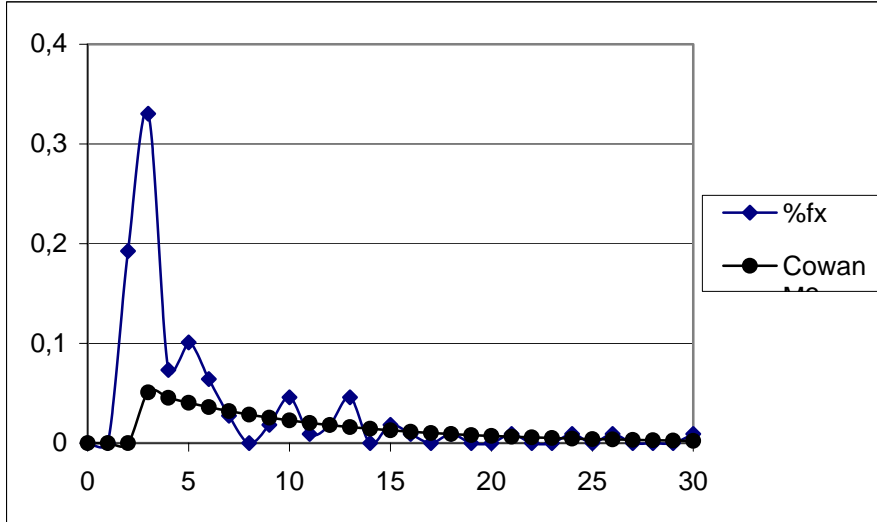


Şekil.5. Lozan meydanı sağ şerit için kümülatif dağılım eğrisi

Şekillerden de görülebildiği gibi Cowan M3 dağılımı, özellikle 5 saniyeden daha büyük aralıkların modellenmesinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Eğer olasılık yoğunluk dağılımları incelenirse, bu sonuç daha iyi görülebilmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7).



Şekil 6. Lozan sol şerite ait olasılık yoğunluk eğrileri



Şekil 7. Lozan sağ şeride ait olasılık yoğunluk eğrileri

Şekiller incelendiğinde Cowan M3 dağılımı kullanılarak, sol şerit için kısa aralıkların, sağ şeride oranla daha iyi tanımlanabildiği; bunun yanı sıra sağ şeritteki aralıkların daha uzun olması sebebiyle daha iyi temsil edilebildikleri görülmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, Cowan M3 dağılımının, trafik mühendisliği araştırmalarında kullanımı konusunda bilgi verilmeye çalışılmış; İzmir'de seçilmiş bir kavşak yaklaşım kolu üzerinde örnek bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

1. Cowan M3 dağılımı, taşıt aralıklarının tanımlanmasında, negatif üssel ve ötelenmiş negatif üssel dağılımlara oranla daha etkin bir kullanıma sahiptir.
2. Cowan M3 dağılımı, tanımlayıcı özelliklerinin yanı sıra, basit uygulama olanağı sağlamasıyla da diğer istatistiksel modellere oranla daha fazla tercih edilmektedir.

3. Şeridi kullanan araçların birbirleriyle etkileşimleri, Cowan M3 dağılımı ile, basit dağılımlara oranla daha iyi tanımlanabilmektedir.
4. Cowan M3 dağılımı, özellikle denetimsiz kavşakların kapasitesinin hesaplanmasında etkin bir biçimde kullanılabilir.
5. Yapılan gözlemler sonucunda, uzun aralık değerlerinde Cowan M3 dağılımının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu da, özellikle dağılımların kuyruk kısmının, Cowan M3 dağılımıyla daha iyi tanımlanabildiğini göstermektedir.

Çalışmada gözlemlerin sadece bir örnek vermek amacıyla yapıldığı; bu nedenle veri sayısının kısıtlı olduğu göz önünde tutulmalıdır. Daha fazla veriyle ve farklı trafik koşullarında yapılacak araştırmaların, Cowan M3 dağılımının ülkemizde kullanım olanakları hakkında daha geniş bilgi verebileceği göz önünde tutulmalıdır. Ayrıca denetimsiz kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanım olanaklarının araştırılmasının; bu alanda basit fakat etkin analizlerin yapılmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasındaki değerli yardımlarından dolayı Dr. Rahmi AKÇELİK, Prof.Dr. Rod TROUTBECK ve İnş.Müh. Ahmet ÇAKICI'ya teşekkürlerimizi içtenlikle sunarız.

## KAYNAKLAR

- Akçelik R., (1998): "Roundabouts", ARR 321 Research Report, Australian Road Research Board.
- Akçelik R., Chung E., (1994): "Calibration of the Bunched Exponential Distribution of Arrival Headways", Road and Transportation Research Vol.3, No:1, p.42-59.
- Cowan R.J., (1975): "Useful Headway Models", Trans. Res., Vol:9, No:6, p.371-375.
- Hagring O., (1996): "The Use of the Cowan M3 Distribution for Modelling Roundabout Flow", Traffic Engineering & Control, Vol: 37, No:5, p.328-332.
- Hagring O., (1998): "Vehicle-Vehicle Interactions at Roundabouts and their Implications for the Entry Capacity", Lund Institute of Technology.
- Inose H., Hamada T., (1975): "Road Traffic Control", University of Tokyo Press.
- Luttinen R.T., (1996): "Statistical Analysis of Vehicle Time Headways", Helsinki University of Technology, Transportation Engineering, Publication 87.
- Luttinen R.T., (1999): "Properties of Cowan's M3 Headway Distribution", TRB Paper Number 990578.
- May A.D., (1990): "Traffic Flow Fundamentals", Prentice Hall.
- Statens V., (1995): "CAPCAL: Model Description", 009E. Borlänge, Report 1995..
- Sullivan D.P., Troutbeck R. J., (1994): "The Use of Cowan's M3 Headway Distribution for Modelling Urban Traffic Flow", Vol. 35, p.445-450.
- Troutbeck R.J., (1991): "Unsignalized Intersections and Roundabouts in Australia: Recent Developments", W. Brilon (ed.) Intersection without Traffic Signals II. Proceedings of an International Workshop in Bochum, Germany.
- Troutbeck R.J., (1997): "A Review of the Process to Estimate the Cowan M3 Headway Distribution Parameters", Traffic Engineering & Control Vol.:38, p.600-603.