

## Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi

Serhan TANYEL\*  
S. Pelin ÇALIŞKANELLİ\*\*  
Metin Mutlu AYDIN\*\*\*  
Seçil Başak UTKU\*\*\*\*

### ÖZ

Trafik akımının kompozisyonu kavşak performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Farklı araç tiplerinin trafik akımı üzerindeki etkileri eşdeğer birim otomobil (EBO) kullanılarak yansıtılabilmektedir. Bu çalışmada, yuvarlakada kavşaklarda ağır araçların -özellikle şehir içi trafiğinde en sık görülen ağır araç tipi olan otobüslerin- etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmaya ait veriler İzmir'deki beş farklı yuvarlakada kavşaktan elde edilmiştir. Sonuçlar, ağır araç düzeltme faktörü ( $f_{AA}$ ) değerini hesaplarken yanyol ve anayol akımı için farklı eşdeğer otomobil birimi (EBO) değerinin kullanılması gerektiğini göstermiştir. Her iki akım için aynı EBO değerinin kullanılması mühendislerin yetersiz ya da aşırı tasarımlar yapmasına neden olacaktır. Bunun dışında anayol akımının ortalama hızının düşük olması durumunda ana akımdaki ağır araç etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yuvarlakada kavşak, eşdeğer birim otomobil, ağır araç, trafik akımı.

### ABSTRACT

#### The Investigation of Heavy Vehicle Effects on Roundabouts

Composition of a traffic flow is one of the most important factors which effects operations at intersections. The effect of different vehicle types in a flow may be reflected by using passenger car equivalence (PCE) values. In this study, it is tried to determine the effect of heavy vehicles at roundabouts, especially the most common heavy vehicle type of buses at urban traffic. Data of the study are obtained from five different roundabouts in İzmir. The results show that when calculating the heavy vehicle factor ( $f_{AA}$ ), different PCE values should be used for minor and major flows. Using the same PCE value for both flows may

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 20.09.2012 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2013 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - serhan.tanyel@deu.edu.tr  
\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - pelin.caliskanelli@deu.edu.tr  
\*\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir - metin.mutluaydin@deu.edu.tr  
\*\*\*\* İzmir Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanlığı, İzmir - sbasaku@yahoo.com

lead engineers to overdesign or inadequate results. Furthermore it was determined that the effect of heavy vehicles is higher in the major flow when mean speed of major flow is low.

**Keywords:** Roundabout, passenger car equivalence, heavy vehicle, traffic flow.

## 1. GİRİŞ

Trafik akımı içerisinde yer alan araç tipleri kavşak performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Genel olarak akımdaki farklı türdeki araçların etkisi, eşdeğer birim otomobil (EBO) değerleri kullanılarak yansıtılabilmektedir. Ağır araçlar kavşaktaki trafik akımını iki kritik yolla etkilemektedir:

- i. Ağır araçlar, bir yol kesitinde boyutlarından dolayı büyük boşluklar işgal etmekte ve kavşak kullanım süreleri çok uzun olmaktadır.
- ii. Ağır araçlar, özellikle ivmelenme, ters ivmelenme ve yüksek hızlarını korumada otomobillerden daha zayıftır [1].

Yanyol ve anayol akımındaki ağır araçlar kavşak başarımını farklı şekillerde etkilerler. Anayol akımındaki ağır araçlar genellikle yanyol akımının girişini uzun süre engelleyerek yanyoldaki kuyruklanma miktarını arttırmırlar. Yanyoldan anayola giriş yapacak olan ağır araçlar ise zayıf hareket kabiliyetlerinden dolayı yanyolda otomobillere göre daha uzun kuyruklar oluşturmaktadır [2]. Zorlamalı aralık kabulü ya da ters öncelik koşullarının meydana gelmesine sebep olan bu durum; yanyoldan kavşağa giriş yapacak araçların çok küçük aralıkları kabul ederek ana akımı bloke etmesine ve kavşak kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Literatürde ağır araçlar genel olarak iki kategoride kullanılmaktadır:

- i. Kamyonlar ve otobüsler;
- ii. Karavan v.b. taşıtlar (RVs) [3].

Kamyonlar ve otobüsler çoğunlukla benzer karakteristiklere sahip olmakta ve kapasite analizlerinde aynı kategoride değerlendirilmektedir. Türkiye’de, kamyon ve otobüslerin yanı sıra farklı araç türleri için farklı EBO değerleri kullanılmaktadır. Kullanılan değerler Tablo 1’de verilmiştir [4].

Türkiye’de ağır araçların sinyalize olmayan kavşaklardaki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan en önemli çalışmalardan birisi Gedizlioğlu [5] tarafından gerçekleştirilmiştir. Gedizlioğlu çalışmasında, yanyol akımındaki ağır araçların ve otomobillerin kabul ettiği kritik aralık değerlerini araştırmıştır. Şehir içi trafiğindeki ağır araç etkisini incelemeyi amaçlayan Gedizlioğlu kıyaslama yapmak amacıyla otomobil, minibüs ve otobüs olmak üzere üç taşıt türü seçmiştir. Çalışma, minibüsler için kritik aralık değerinin otomobillerinkine çok yakın olduğunu hatta bazı durumlarda daha küçük olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, yanyol akımında minibüsler için herhangi bir EBO değeri hesaplanmamıştır. Otobüslerin kritik aralık değeri otomobillerin kritik aralık değerine oranlanınca ( $T_{\text{otobüs}}/T_{\text{otomobil}}$ ) “1,17 ~ 1,74 eşdeğer birim otomobil/taşıt” aralığında farklılık tespit edilmiştir [5]. Gedizlioğlu, ayrıca ( $T_{\text{otobüs}}/T_{\text{otomobil}}$ ) oranına ait hesaplanan değerlerin “1,20 ~ 1,30” aralığında yoğunlaştığını vurgulamıştır. Tanyel [1], [6] İzmir’deki kavşaklarda ağır araç etkisi üzerine çalışmalar yapmış ve yanyol akımındaki otobüsler için EBO değerlerini otomobillerin ve otobüslerin kritik aralık değerlerini kıyaslayarak

hesaplamıştır. Tanyel [6] ayrıca, minibüsler ve kamyonetlerin kritik aralık değerinin birbirine çok yakın ve bazı durumlarda otomobillerden bile daha küçük olduğunu bulmuştur. Bu sonuçlar Gedizlioğlu [5] tarafından elde edilen sonuçlara oldukça yakındır. Tanyel [1], [6], dönel kavşaklarda dönen akım içerisindeki minibüsler için “1,15 ebo/taşıt ve otobüsler içinde “1,50~ 1,65 ebo/taşıt” arasında değişen EBO değerleri bulmuştur.

Tablo 1. Türk Standartları TS 6407’de yer alan EBO değerleri[4].

Taşıt Tipi	Şehir İçi Yolda	Dönel kavşakta	Sinyalize Kavşakta
Özel otomobil, taksi, sepetli motosiklet, triportör yüksüz 1500 kg’a kadar olan pikap	1,00	1,00	1,00
Minibüs, Dolmuş, Taksi	1,15	1,30	1,27
Yüksüz 1500 kg’dan ağır ticari kamyon, at arabası	2,00	2,80	1,75
Kent içi ve dışı yolcu otobüsü (körüklü dâhil) servis otobüsü, trolleybüs, tramvay	3,00	2,80	2,25
Motosiklet, mopet	0,75	0,75	0,33
Bisiklet	0,33	0,50	0,20

Farklı ülkelerde trafik akımı üzerinde ağır araç etkisini belirleyebilmek amacıyla birçok yöntem kullanarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Akçelik ve Associates [2] dönel kavşaklardaki ağır araç eşdeğeri için 2,0 ebo/taşıt ve dur-kontrollü kavşaklar için de ağır araç eşdeğeri olarak kullanılan 1,5 ebo/taşıt değerlerini önermiştir. İngiltere’de yapılan bir çalışmada araştırmacılar, dönen akım için EBO değerlerini 1,7 ebo/taşıt, giriş akımı için ise 1,9 ebo/taşıt olarak belirlemişlerdir [7]. Hoogendoorn ve Bovy [8] gibi bazı araştırmacılar ağır araç etkisini taşıt tipine bağlı aralık dağılımlarını kullanarak yansıtmayı denemişlerdir. Fisk [9] ve Li [10] sinyalize olmayan kavşaklar için kapasite fonksiyonlarını iyileştirmek amacıyla Hoogendoorn ve Bovy’e benzer bir yaklaşım kullanmışlardır.

Dahl ve Lee [11] çalışmalarında, dönel kavşaklarda ağır araç etkisini farklı kapasite analiz yöntemlerini kullanarak irdelemişlerdir [2, 12, 13, 14, 15]. Elde edilen sonuçlar, kapasitenin kamyon yüzdesi arttıkça azaldığını fakat azalma miktarının dönen akımda daha büyük olduğunu göstermiştir.

Yukarıda özetlenmiş olan çalışmaların büyük kısmında dünyada yaygın olarak yapılmakta (tasarlanmakta) olan modern dönel kavşaklar temel alınmaktadır. Ülkemizde ise pratikte gerek kavşak geometrisi ve gerekse işletim özellikleri açısından geleneksel dönel kavşakların bulunduğu söylenebilir. 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 sahalalarının yüksek kapasitede olması amaçlanmaktadır [1]. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında geleneksel dönel kavşaklar yuvarlakada kavşak; modern dönel kavşaklar ise dönel kavşak olarak adlandırılacaklardır.

Bu çalışmada, İzmir’de önemli arterler üzerinde yer alan beş farklı yuvarlakada kavşaktan elde edilen veriler kullanılarak ağır araçların etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma şehir içi trafik akımında en yoğun gözlemlenen ağır araç tipi olan otobüsler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Çalışmada ilk olarak EBO değerlerinin tahmini için farklı yöntemler ve ağır araç etkisi incelenmiştir. Daha sonra, gözlem alanları tanıtılmış ve veri toplama yöntemleri sunulmuştur. Çalışmanın dördüncü bölümünde yanyol ve dönen akımları için çeşitli analizle yapılmış ve ağır araçlar için EBO değerleri önerilmiştir. Bulgu ve tartışmalar bölümünde EBO değerinin doğru kullanılmaması ve olası durumun etkileri vurgulanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise sonuçlar ve gelecek araştırmalar için tavsiyelere yer verilmiştir.

## **2. AĞIR ARAÇ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER**

Türkiye’de sinyalizasyon olmayan kavşaklarda ağır araç etkisinin belirlenmesi amacıyla sınırlı sayıda çalışma yapılmış olsa da, dünyanın çeşitli yerlerinde değişik ve önemli çalışmalar yürütülmüştür. Yaygın bir yaklaşım olarak, ağır araç yüzdesinin %5’in altında olduğu durumlarda dönel kavşak performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı varsayılmaktadır. Ağır araç oranının %5’i aşması durumu için ağır araç düzeltme faktörünün ( $f_{AA}$ ) hesaplanması amacıyla aşağıda verilen bağıntı kullanılabilmektedir [7].

$$f_{AA} = \frac{1,0}{1,0 + (EBO_{AA} - 1,0)(p_{AA} - 0,05)} \quad (1)$$

Burada; “ $f_{AA}$ ” ağır araç düzeltme faktörünü, “ $EBO_{AA}$ ” bir ağır aracın otomobil eşdeğerliğini (ebo/taşıt), “ $p_{AA}$ ” ise ağır araç oranını tanımlamak için kullanılmaktadır. %5 değerinin yüksek bir oran olduğu kabul edilirse; denklem aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$f_{AA} = \frac{1,0}{1,0 + (EBO_{AA} - 1,0)p_{AA}} \quad (2)$$

Bu denklem, [15]’de dönel kavşaklar için ağır araç düzeltme faktörü olarak önerilmektedir. Denklem (2) farklı araç türleri için aşağıdaki gibi genelleştirilebilmektedir.

$$f_{AA} = \frac{1,0}{1,0 + \sum_{i=1}^n (EBO_{AAi} - 1,0)p_{AAi}} \quad (3)$$

Burada “ $EBO_{AAi}$ ” ağır araç tür “ $i$ ” için EBO değerini, “ $p_{AAi}$ ” ağır araç tür “ $i$ ” için trafik akımındaki ağır araç oranını göstermektedir. Akçelik ve Associates [3],  $f_{AA}$  için yeni bir yaklaşım olarak %0’ın üzerindeki tüm ağır araç oranları için sürekli bir fonksiyon önermiştir.

$$f_{AA} = \frac{1}{\left\{1.0+0.5(EBO_{AA}-1.0)\left[(P_{AA}-0.05)+\sqrt{(P_{AA}-0.05)^2+0.001\frac{P_{AA}}{(EBO_{AA}-1.0)}}\right]\right\}} \quad (4)$$

Ağır araç düzeltme faktörü ( $f_{AA}$ ) anayol ve yanyol akımları için ayrı ayrı hesaplanmakta; ana akım oranı aşağıdaki denklem kullanılarak düzeltilmektedir.

$$Q_{ca} = \frac{Q_c}{f_{AAc}} \quad (5)$$

Burada; “ $Q_{ca}$ ” düzeltilmiş akım oranı (ebo/saat), “ $Q_c$ ” ana akım oranı (dönel kavşaklardaki dönen akım oranı)(taşıt/saat) ve “ $f_{AAc}$ ” denklem (4)’ten hesaplanan ağır araç düzeltme faktörüdür.

Ayrıca Akçelik&Associates [2] yanyol şerit akımı (dönel kavşaklardaki giriş şerit akımı) kritik aralık ve takip aralığı üzerinde aşağıda verilen şekilde bir düzeltme önermişlerdir.

$$T_{AA} = T_{otm} / f_{AAe} \quad (6.a)$$

$$T_{0AA} = T_{0otm} / f_{AAe} \quad (6.b)$$

Burada “ $T_{otm}$ ” yanyol otomobil sürücülerinin kritik aralık kabul değeri (saniye); “ $T_{AA}$ ” ağır araçlar için düzeltilmiş kritik aralık değeri (saniye); “ $T_{0otm}$ ” otomobiller için takip aralığı değeri (saniye); “ $T_{0AA}$ ” ağır araçlar için takip aralığı zamanı (saniye) ve “ $f_{AAe}$ ” giriş akımı için denklem (4)’ten hesaplanan ağır araç düzeltme faktörüdür [3].

Fisk [9], trafik akımında ağır araçların otomobil eşdeğerliğiyle gösteriminin hataya neden olabileceğini belirtmiştir. Bir ağır aracın yerini farklı sayıda otomobil ile değiştirmenin ana akımdaki aralıkların sayı ve süresini bozduğunu, buna bağlı olarak yanyoldaki araçlar tarafından gözlemlenen aralıkların değerlerinin de yanlış hesaplandığını savunmuştur. Fisk [9] çalışmasında, otomobiller ve ağır araçlar için yeni bir kapasite modeli önermiş, ana akımdaki aralıkların ötelenmiş negatif üssel dağılım ile temsil edilebileceğini varsaymış ve kavşak yaklaşımındaki kapasitenin aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanabileceğini belirtmiştir.

$$q_{eotm} = \frac{q_{otm} \left\{1 - q_{otm} (p_{otm} \Delta_{otm} + p_{AA} \Delta_{AA})\right\} \left\{p_{otm} e^{-q_{otm}(T_{otm}-\Delta_{otm})} + p_{AA} e^{-q_{otm}(T_{otm}-\Delta_{otm})}\right\}}{1 - e^{-q_{otm} T_{0otm}}} \quad (7)$$

$$q_{eAA} = \frac{q_{otm} \{1 - q_{otm} (p_{otm} \Delta_{otm} + p_{AA} \Delta_{AA})\} \{p_{otm} e^{-q_{otm} (T_{AA} - \Delta_{otm})} + p_{AA} e^{-q_{otm} (T_{AA} - \Delta_{AA})}\}}{1 - e^{-q_{otm} T_{0AA}}} \quad (8)$$

Burada “ $\Delta_{otm}$ ” ana akımdaki otomobiller için en küçük aralık değeri (saniye); “ $\Delta_{AA}$ ” ana akımdaki ağır araçlar için en küçük aralık değeri (saniye); “ $p_{otm}, p_{AA}$ ” sırasıyla, ana akımdaki otomobil ve ağır araç yüzdesi; “ $q_{eotm}$ ” yalnız otomobillerden oluşan giriş akımının kapasitesi (taşıt/saniye); “ $q_{eAA}$ ” yalnız ağır araçlardan oluşan giriş akımının kapasitesi (taşıt/saniye); “ $T_{otm}, T_{AA}$ ” sırasıyla, yanyol akımındaki otomobiller ve ağır araçlar için kritik aralık değerleri (saniye); “ $T_{o\ otm}, T_{o\ AA}$ ” sırasıyla, yanyol akımındaki otomobiller ve ağır araçlar için takip aralığı değeridir (saniye). Doğun akım oranı, aşağıdaki bağıntı ile yazılabilmektedir [9].

$$\rho = \frac{q_{talepotm}}{q_{eotm}} + \frac{q_{talepAA}}{q_{eAA}} \quad (9)$$

Burada “ $q_{talepotm}$ ” talep akımındaki otomobillerin sayısı ve “ $q_{talepAA}$ ” talep akımındaki ağır araçların sayısıdır. Yanyol yaklaşımındaki toplam talep akımı ( $q_{talep}$ ) ise aşağıdaki bağıntıyla bulunabilir.

$$q_{talep} = q_{talepotm} + q_{talepAA} \quad (10)$$

Yukarıdaki denklemler kullanarak, ağır araçların ve otomobillerin manevraları arasındaki farklılık hakkında daha doğru bir yargıda bulunmak mümkün olabilmektedir.

### 3. GÖZLEMLER VE VERİLERİN TOPLANMASI

Otomobil ve ağır araçların hareketlerini inceleyebilmek amacıyla İzmir’de bulunan 5 çok şeritli dönel kavşakta video kamera ile çekim yapılarak veri toplanmıştır. Bu kavşaklar Alsancak-Gar, Lozan, Montrö, Cumhuriyet ve Bornova kavşaklarıdır. Kavşaklara ait geometrik çizimler Şekil 1’de, geometrik özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 1’den de görülebileceği gibi Bornova, Alsancak-Gar ve Cumhuriyet kavşaklarına ait bazı yaklaşım kolları dönel kavşak tasarımı açısından uygun özellikler göstermemektedir. Bu sebeple uygun tasarım koşullarının geçerli olduğu yaklaşım kollarından veri toplanmış ve veri toplanan yaklaşım kolları Şekil 1 üzerinde gösterilmiştir. Örnek olarak seçilen kavşaklar; İzmir’deki önemli arterler üzerinde bulunmaları, yüksek oranda ağır araç trafiği içermeleri, birden fazla giriş şeridinde sahip olmaları (Bkz Tablo 2) sebebiyle seçilmişlerdir. Bütün gözlemler yağışsız, hafta içi günlerinde sabah 07:00-09:00 ve akşam 18:00-19:30 saatleri arasında kavşağa yakın yüksek binalardan video kamera kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Troutbeck [16], 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 yanyol’da sürekli kuyrukta bekleyen araçların bulunması gerekmektedir. Bu koşulda 1 ve 5 dakikalık veri gruplarının toplanması, kapasite analizleri için yeterli kabul edilmektedir [16]. Çalışmada 1

dakikalık veri gruplarının toplanması tercih edilmiştir. Buna göre, çalışma kapsamında Lozan kavşağından 49 dakikalık, Montrö kavşağından 53 dakikalık (Montrö 1) ve 82 dakikalık (Montrö 2), Cumhuriyet Meydanı kavşağından 84 dakikalık (Cumhuriyet 1) ve 49 dakikalık (Cumhuriyet 2), Alsancak Gar kavşağından 82 dakikalık (Alsancak-Gar Konak Yaklaşımı) ve 62 dakikalık (Alsancak-Gar Liman Yaklaşımı) ve Bornova kavşağından 60 dakikalık yanyolda sürekli kuyrukta bekleyen araçların bulunduğu veri grupları elde edilebilmiştir. Video kamera yardımıyla elde edilen görüntülerden incelenen her bir yaklaşım kollarına ait aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

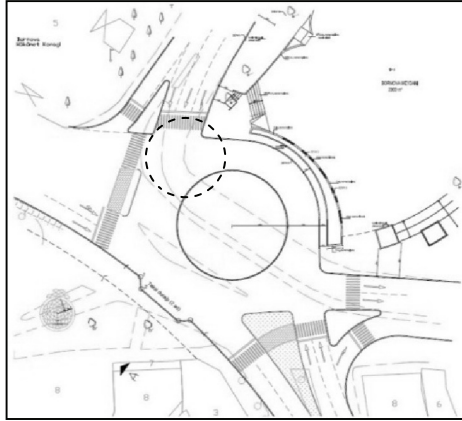
- Dönen (ana akım) trafik hacmi (taşıt/saat ve taşıt/dakika);
- Giren (yanyol akımı) trafik hacmi (taşıt/saat ve taşıt/dakika);
- Ana akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri (saniye);
- Yanyol akımındaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri (saniye);
- Kabul edilen aralıklar (saniye);
- Reddedilen aralıklar (saniye);
- Ağır araçların türleri ve yüzdeleri;
- Yanyol akımındaki taşıtlar için servis (en küçük) gecikme süreleri (saniye);
- Kuyruk uzunlukları (metre).

Ana akımdaki takip aralığı değeri, arka arkaya hareket etmekte olan iki dönen akım aracının yanyol ile dönen akım araçlarının kesişme noktası olarak belirlenen noktayı geçişleri arasındaki zaman farkı ölçülerek belirlenmiştir. Yanyol araçları için takip aralığı değeri, incelenen yaklaşım kolunda arka arkaya duran iki aracın, dönen akımdaki aynı aralığı kullanarak kavşağa katılmaları (dur çizgisini geçmeleri) arasındaki zaman farkıdır. Ayrıca dönen akım ve yanyol akımı için takip aralığı değerleri takip eden ve edilen araç tipi belirlenerek çıkarılmıştır. Çalışmada yaklaşım kollarına ait kritik aralık değeri maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. İncelenen yaklaşım kollarına ait kabul edilen ve reddedilen aralıkların dağılımı arasında ciddi bir farklılık tespit edilememiştir. Bu sebeple farklı kavşaklardan elde edilen veriler bir arada değerlendirilerek analizlere devam edilmiştir. Kavşaklardaki dönen ve yanyol akımları için taşıt kompozisyonu Tablo 3'te verilmiştir.

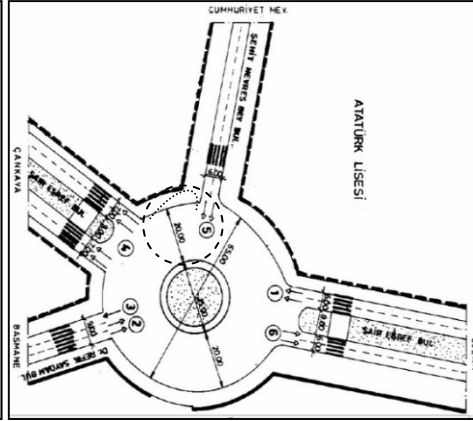
Tablo 2. Gözlem yapılan kavşakların geometrik özellikleri

Kavşak adı	Kavşağın çapı ( $D_i$ ) (m)	Giriş şeridi sayısı ( $n_{giris}$ )	Giriş şeridi genişliği ( $w_{giris}$ ) (m)	Çıkış şeridi sayısı ( $n_{cikis}$ )	Çıkış şeridi genişliği ( $w_{cikis}$ ) (m)	Refüj genişliği ( $w_{refuj}$ ) (m)	Kavşak içindeki şerit sayısı ( $n_c$ )	Dönüş alanının genişliği ( $w_c$ ) (m)	Kesişme açısı ( $\Phi$ ) °
Alsancak Gar	55,00	2	3,00	2	3,00	10,00	3	15,00	45,00
Cumhuriyet	140,00	1	5,00	1	5,00	8,00	2	7,00	47,00
Montrö	65,00	2	3,00	-	-	-	3	20,00	46,00
Lozan	67,00	2	3,00	2	3,00	9,00	3	20,00	54,00
Bornova	46,00	2	3,50	-	-	-	2	10,00	61,00

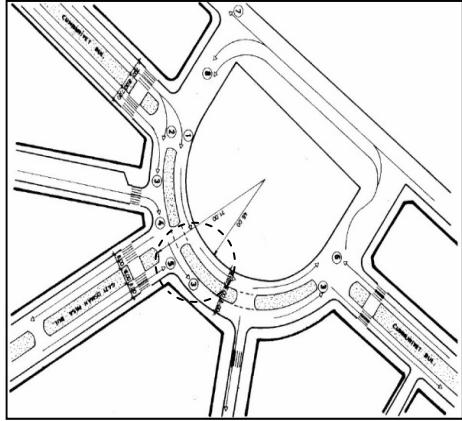
*Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi*



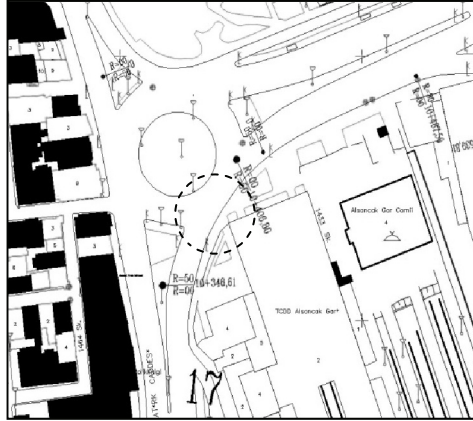
(a) Bornova Kavşağı



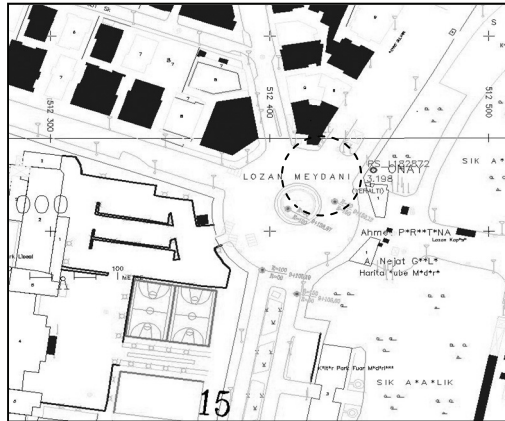
(b) Montrö Kavşağı



(c) Cumhuriyet Meydanı



(d) Alsancak-Gar Kavşağı



(e) Lozan Meydanı

*Şekil 1. Gözlem yapılan kavşakların genel planı*



Tablo 3. Gözlenen kavşak yaklaşımlarındaki trafik akımı(araç/saat) ve araç kompozisyonu(%)

Gözlem Noktaları		Dönen Akım				Yanyol Akımı			
		Otomobil	Minibüs	Kamyon	Otobüs	Otomobil	Minibüs	Kamyon	Otobüs
Alsancak Gar Konak Yaklaşımı	Trafik akımı (araç/saat)	576	69		27	855	84		138
	%	86	10	-	4	79	8	-	13
Alsancak Gar Liman Yaklaşımı	Trafik akımı (araç/saat)	1551	207		278	389	25		8
	%	76	10		14	92	6		2
Cumhuriyet (1)	Trafik akımı (araç/saat)	1904	65	10	68	928	63	13	31
	%	93	3	1	3	90	6	1	3
Cumhuriyet (2)	Trafik akımı (araç/saat)	1324	110		56	537	58		4
	%	89	7	-	4	89	10	-	1
Montro (1)	Trafik akımı (araç/saat)	792	77		136	378	41		91
	%	78	8	-	14	74	8	-	18
Montro (2)	Trafik akımı (araç/saat)	543	51	13	71	551	33	4	46
	%	80	8	2	10	87	5	1	7
Lozan	Trafik akımı (araç/saat)	750	76		5	1247	137		256
	%	90	9	-	1	76	8	-	16
Bornova (1)	Trafik akımı (araç/saat)	421	186		70	457	51		
	%	62	28	-	10	90	10	-	-
Bornova (2)	Trafik akımı (araç/saat)	534	219		74	404	40		
	%	62	29	-	9	91	9	-	-

#### 4. ANALİZLER

##### 4.1 Ağır Araçların Yanyol Akımındaki Etkisinin İncelenmesi

Daha öncede değinildiği gibi ağır araçlar, boyutları nedeniyle otomobillere göre büyük ivmelenme zamanına sahiptirler. Bir taşıtın ivmelenme zamanı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir [17].

$$t_a = (v_s - v_b)/a_{ort} \quad (11)$$

Burada  $t_a$  ivmelenme zamanı (saniye);  $v_s$  ivmelenmedeki son hız (km/saat);  $v_b$  ivmelenmedeki başlangıç hızı (km/saat) ve  $a_{ort}$  ortalama ivmelenme oranıdır (km/saat/saniye).

Akçelik ve Besley [17] çalışmalarında ağır araçların trafik akım üzerindeki etkilerini, ağır araçların işletim özelliklerini göz önüne alarak incelemişlerdir. Araçları hafif ve ağır araç olarak kategorize eden araştırmacılar hafif araçlar için ortalama ivmelenme değerinin " $a_{aHA}$ " aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabileceğini belirtmişlerdir.

$$a_{aHA} = f_{aHA}[p_1 + p_2(v_s - v_b)^{0.5} - p_3v_b] \quad (12)$$

*Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi*

Burada  $a_{aHA}$  hafif araçlar için ivmelenme oranı (km/saat/saniye);  $f_{aHA}$  kavşaklarda hafif araçlar için düzeltme faktörü ve  $p_1, p_2$  ve  $p_3$  Tablo 4’te hafif araçlar için verilen ivmelenme oranı kalibrasyon parametresidir. Ağır araçlar için, ortalama ivmelenme oranı ( $a_{AA}$ ) aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$a_{AA} = f_{AA}[p_1 + p_2PWR(v_s - v_b)^{0.5} + PWR^{0.5}(p_4 - p_3v_b) - (p_5v_s^{0.5} + p_6G_r)/PWR] \quad (13)$$

Burada;  $G_r$  yaklaşım derecesi (%),  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$  ve  $p_6$  Tablo 4’te ağır araçlar için verilen ivmelenme oranı kalibrasyon parametreleridir.  $PWR$  aşağıdaki formülle hesaplanabilen gücün ağırlığa oranıdır.

$$PWR = 1000 \frac{P_{maks}}{M_{AA}} \quad (14)$$

Denklem (14)’te,  $P_{maks.}$ ; motor güç oranı,  $M_{AA}$ ; ağır araç kütlesi (kg)dir [18].  $P_{maks.}$  ve  $M_{AA}$  değerleri Tablo 4’te verilen sabit değerler olarak kullanılabilir [2]. Akçelik ve Associates [2][18]’de, hafif araçların kütlesinin 1100-2700 kg arasında, ağır araçların ise 5500-38000 kg arasında değiştiği tanımlanmıştır.

*Tablo4. İvmelenme oranı kalibrasyon değerleri [16].*

	$f_a$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_{maks.}$	$M_{AA}$	$PWR$
<b>HA</b>	1,8	2,08	0,127	0,0050	-	-	-	-	-	-
<b>AA</b>	2,2	0,09	0,002	0,0010	0,15	0,42	0,126	130	11000	11,8

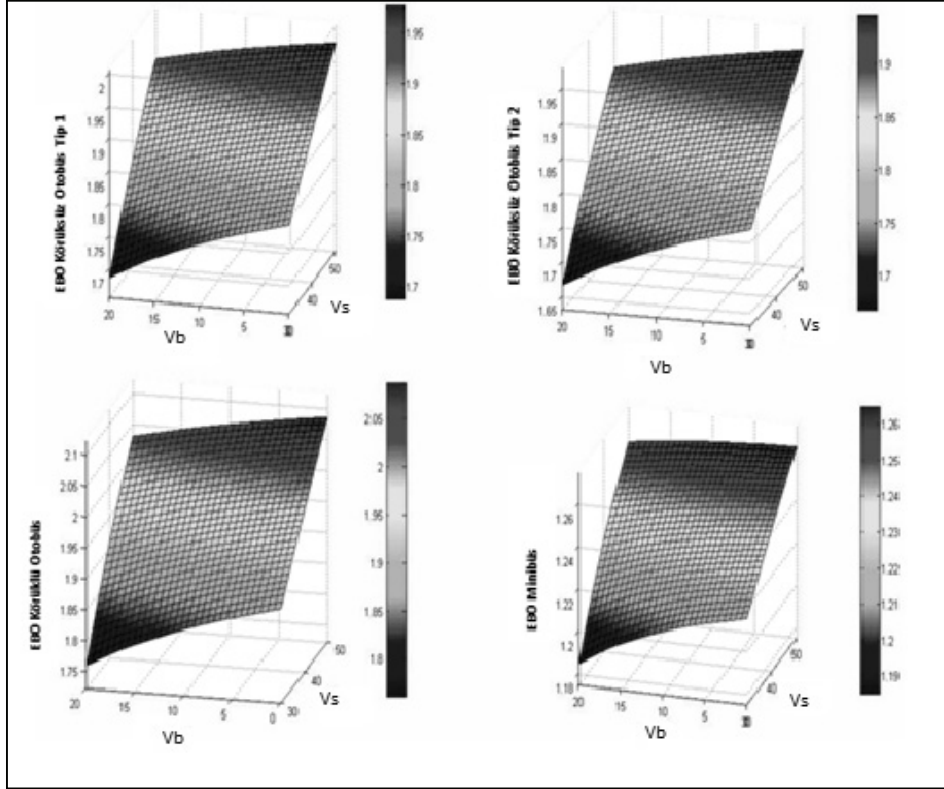
Çalışmanın bu aşamasında yanyoldan kavşağa giriş yapacak olan ivmelenme zamanları araç tipine bağlı olarak hesaplanmıştır. Tablo 3’de görüldüğü gibi, minibüsler ve otobüsler şehir içi trafiğinde en çok gözlemlenen araç türleridir. Tablo 5’te İzmir’de toplu ulaşım amacıyla kullanılan otobüslerin bazı karakteristikleri gösterilmiş ayrıca otomobiller ve minibüsler için de varsayılan karakteristikler verilmiştir.

*Tablo 5. Analizlerde kullanılan farklı araç türlerine ait karakteristikler.*

<b>Taşıt Sınıfı</b>	<b>Uzunluk (m)</b>	<b>Yüklü Ağırlığı (kg)</b>	<b>Maks. Motor Gücü(kW)</b>	<b>PWR (1000*kW/kg)</b>
Otomobil	5,00	1300	91	70,0
Minibüs	6,20	4500	105	23,3
Körüksüz Otobüs Tip 1	11,88	18000	184	10,2
Körüksüz Otobüs Tip 1	11,91	17500	184	10,5
Körüklü Otobüs	17,94	28000	260	9,3

İvme değerleri Akçelik ve Besley [17] tarafından önerilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmış, hız değerleri  $V_{\text{başlangıç}}$  için 0-20 km/saat,  $V_{\text{bitiş}}$  için 30-50 km/saat değerlerinin arasında alınmıştır. Hız değerindeki farklılık yanyoldan kavşağa katılacak olan aracın durup, anaakıma ancak uygun boşluk bulduğu zaman katılabileceği gibi, kavşağa yaklaşım hızı ile direkt olarak anaakıma katılabileceği düşünerek belirlenmiştir. Amaç farklı hızlarda kavşağa katılan ağır araçların EBO değerinin farklı olabileceğini vurgulamaktır. Farklı araçlar için elde edilen ivmelenme değerleri kullanılarak basit bir yaklaşım ile yanyol yaklaşımındaki ağır araçlar için eşdeğer otomobil birimi (EBO) değeri ağır araçların ivmelenme zamanının otomobillerin ivmelenme zamanına oranı ile elde edilmiştir.

$$EBO_{AAi} = \frac{t_{aAAi}}{t_{aHA}} \quad (15)$$



Şekil 2. Farklı araç türleri için ( $V_b$ ) ve ( $V_s$ )'ye göre EBO değerlerindeki değişim.

Denklem (15)'de,  $EBO_{AAi}$ ; ağır araç türü “i” için otomobil eşdeğeri,  $t_{aAAi}$ ; ağır araç türü “i” için ivmelenme zamanı,  $t_{aHA}$ ; hafif araç (otomobil) ivmelenme zamanıdır. Bu değerler farklı araç tipleri farklı ivmelenme yeteneklerine sahiptir. Başlangıç ( $V_b$ :0-20 km/saat) ve hedef hızlar ( $V_s$ :30-50 km/saat) değiştiğinde, ivmelenme zamanı da değişmekte ve bu durumda EBO değerleri hız değişimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Şekil 2’de,

*Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi*

farklı araç türleri için ( $V_s$ ) ve ( $V_b$ ) değerlerine göre EBO değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekil 2’de görülebileceği gibi EBO değerleri başlangıç hızı “ $V_b$ ” ve son hız “ $V_s$ ” değerlerinin artışıyla birlikte artış göstermektedir. Bu durumda duruştan kavşağa katılan bir araç ile yavaşlayarak kavşağa katılan ağır aracın EBO değeri farklı olmaktadır. Diğer önemli bir nokta da körtüklü ve körtüksüz otobüslerin EBO değerlerinin birbirine oldukça yakın olmasıdır.

Gözlem yapılan yaklaşım kollarından elde edilen ortalama kritik aralık ve takip aralığı değerleri ile standart sapma değerleri araç tiplerine bağlı olarak Tablo 6’ da verilmiştir. Otobüslere ait değerler otobüslerin yoğun olarak kullandığı Montrö ve Lozan kavşakları için verilmiş, diğer kavşaklardan sağlıklı otobüs verisi elde edilememiştir. Tablo 6’da kritik aralık ve takip aralığı değerlerine bağlı olarak EBO değerleri önerilmiştir. Kritik aralık ve takip aralığı değerlerine bağlı olarak elde edilen EBO değerlerinin, Şekil 2’de verilen hızlanma özelliklerine bağlı olarak belirlenen EBO değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca sabit bir EBO değerinin kapasite ve performans analizlerine uygun olmadığı oldukça belirgin bir durumdur. Farklı koşullarda, farklı değerler kullanılabilir.

*Tablo 6. Kritik aralık ve takip aralığı değerlerine bağlı olarak elde edilen EBO değerleri*

Kavşaklar	Kritik Aralık (sn) ve Takip Aralığı (sn)						EBO Değerleri			
	$T_{otm}$	$T_{o0tm}$	$T_{otb}$	$T_{o0tb}$	$T_{mb}$	$T_{0mb}$	$T_{otb}/T_{otm}$	$T_{o0tb}/T_{o0tm}$	$T_{mb}/T_{otm}$	$T_{0mb}/T_{o0tm}$
	(Std sap)		(Std sap)		(Std sap)					
<b>Alsancak Gar Konak Yaklaşımı</b>	3,98 (1,88)	2,6 (1,24)	6,46 (3,07)	4,56 (2,37)	4,77 (2,27)	2,86 (1,45)	2,03	2,00	1,15	1,10
<b>Alsancak Gar Liman Yaklaşımı</b>	3,18 (1,59)	2,28 (1,13)			3,78 (1,90)	2,71 (1,33)			1,19	1,19
<b>Cumhuriyet (1)</b>	2,08 (0,97)	1,87 (0,88)	-		2,64 (1,21)	2,32 (1,12)			1,27	1,24
<b>Cumhuriyet (2)</b>	2,93 (1,50)	1,87 (0,96)	-		3,52 (1,75)	2,28 (1,13)			1,20	1,22
<b>Montrö (1)</b>	3,37 (1,69)	2,17 (1,04)	6,57 (3,29)	4,27 (2,12)	4,25 (2,02)	2,58 (1,21)	1,95	1,97	1,26	1,19
<b>Montrö (2)</b>	3,31 (1,69)	2,19 (1,04)	6,39 (3,29)	4,31 (2,10)	3,91 (2,00)	2,58 (1,26)	1,93	1,97	1,18	1,18
<b>Lozan</b>	3,14 (1,53)	2,10 (1,02)	6,25 (3,10)	3,93 (2,02)	3,96 (1,94)	2,52 (1,32)	1,99	1,87	1,26	1,20
<b>Bornova (1)</b>	3,54 (1,78)	2,23 (1,11)	-		4,32 (2,18)	2,70 (1,32)			1,22	1,21
<b>Bornova (2)</b>	3,09 (1,52)	2,14 (1,04)	-		3,71 (1,83)	2,70 (1,29)			1,20	1,26
<b>Ortalama</b>							1,98	1,95	1,22	1,20

\*\* $T_{otm}$ ; otomobillerin ortalama kritik aralığı (sn),  $T_{o0tm}$ ; otomobillerin ortalama takip aralığı (sn),  $T_{otb}$ ; otobüslerin ortalama kritik aralığı (sn),  $T_{o0tb}$ ; otobüslerin ortalama takip aralığı (sn),  $T_{mb}$ ; minibüslerin ortalama kritik aralığı (sn),  $T_{0mb}$ ; minibüslerin ortalama takip aralığı (sn)

#### 4.2. Ağır Araçların Ana Yol Akımındaki Etkisinin İncelenmesi

Sinyalize ya da sinyalize olmayan dönel bir kavşağın kapasitesi, ana yol trafik akımının özelliklerine bağlıdır. Özellikle ana akımdaki taşıtlar arasındaki takip aralıklarının dağılımları, yol ver ya da dur kontrollü kavşak girişlerinde sürücü tarafından gözlemlenen engellenen ya da engellemeyen süreler kavşak yaklaşımlarının kapasitesini belirlemektedir. Bazı durumlarda, ana akımdaki taşıtların tiplerini düşünmeden hepsinin aynı tip olduğu varsayılmaktadır. Her ne kadar bu durum kavşağın kapasitesi hakkında bir fikir verebilir olsa da, giriş akımının kapasitesinin olduğundan büyük hesaplanmasına yol açabilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için Hoogendoorn ve Bovy [8] karışık taşıt akımı için bir aralık dağılım modeli tanımlamak amacıyla genel bir yaklaşım önermişlerdir.

$$F(t) = \sum_i P_i F_i(t) \quad (16)$$

Burada  $F(t)$  tüm taşıt türlerine ait aralıkların olasılık yoğunluk fonksiyonu;  $P_i$  taşıt türü “ $i$ ”nin akım içerisindeki oranı ve  $F_i(t)$  taşıt türü “ $i$ ” için olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Hoogendoorn ve Bovy [8] aralıkları tanımlamak için geliştirilmiş kuyruk modelini (ya da Cowan M4 modeli) kullanmışlardır. Türkiye’de kavşaklarda kapasite ve performans analizlerinde ana akımdaki aralıkların tanımlanması için Cowan M3 dağılımının kullanabileceği yapılan çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25]. Cowan M3 dağılımının genel formu aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\begin{aligned} F(t) &= 0 & t < 0 \\ F(t) &= 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{aligned} \quad (17)$$

Burada “ $\alpha$ ” ana akımdaki serbest araç oranı; “ $\Delta$ ” ana akımdaki taşıtlar arasındaki zaman cinsinden en küçük aralık değeri ve “ $\lambda$ ” aşağıdaki formülle hesaplanabilen bir katsayıdır.

$$\lambda = \frac{\alpha q_c}{1 - \Delta q_c} \quad (18)$$

Bağıntı (18)’de  $q_c$  ana akım (taşıt/saniye) değeridir. Çok şeritli dönel kavşaklardaki dönen akımlar için serbest araç oranı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir [1][19]:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1,25 - 1,13\Delta q_c & \text{Eğer } \Delta q_c \geq 0,22 \\ \alpha &= 1,00 & \text{Diğer durumlarda} \end{aligned} \quad (19)$$

Tek şeritli dönel kavşaklardaki dönen akım için serbest araç oranı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir [23]:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1,11 - 1,47\Delta q_c & \text{Eğer } \Delta q_c \geq 0,07 \\ \alpha &= 1,00 & \text{Diğer durumlarda} \end{aligned} \quad (20)$$

Denklem (18), (19) ve (20)'den de görüldüğü üzere “ $\alpha$ ” ve “ $\lambda$ ” parametreleri en küçük takip aralığı ( $\Delta$ ) değerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu konuda yapılmış olan çalışmalardan, çok şeritli dönel kavşaklarda en küçük takip aralığı değerinin 0,5~2,5 saniye arasında değiştiği bilinmektedir [26] [27][28]. Bunun dışında dönen akımda birden fazla şerit bulunması durumunda farklı şeritlerdeki taşıtlar arasındaki aralıkların genel olarak 1,0 saniye'nin altında olduğu gözlemlenmektedir. Dönel kavşağın tek şeritli olması durumunda ise en küçük takip aralığı değerleri 1,5~2,0 saniye arasında gözlemlenmekte ve ortalama bir değer olarak 1,8 saniyenin kullanılabilceği önerilmektedir [26]. Türkiye'de bu değerler 1,0~2,7 saniye arasında gözlemlenmiştir [2].

Ana akımdaki ağır araçlar zayıf ters ivmelenme kabiliyetlerinden dolayı öndeki araçları daha uzun mesafe bırakarak takip etmektedirler. Bir ağır araç ve onu takip eden araç arasındaki aralık, ağır aracın boyutlarından dolayı birbirini takip eden iki otomobilinkinden daha büyük olmaktadır. Sonuç olarak, ağır araçların en küçük takip aralığı ( $\Delta_{AA}$ ), otomobillerin en küçük takip aralığı değerinden ( $\Delta_{otm}$ ) farklı olmaktadır. Bu sebeple ana akımdaki taşıtlar, konumlarına göre gruplandırarak; (örneğin otomobili otomobilin takip etmesi, otomobilin otobüsü takip etmesi, otobüsü otobüsün takip etmesi vb. durumları için) incelemek her ne kadar gerçekçi bir yaklaşım olsa da; anlamlı sonuçlar elde edebilmek için çok fazla sayıda gözlem verisi gerektirmektedir [8].

Gözlemlerden bir otomobilin bir otomobil tarafından takip edildiği, ya da bir otomobilin bir minibüs tarafından takip edildiği durum için yeterli sayıda veri elde edilebilirken otobüsü otobüsün takip etmesi durumu için veri sayısı sınırlı olmaktadır. (Örneğin Bornova kavşağında, birinci durum için 1 saatlik periyotta 360 araçlık gözlem verisi elde edilmiştir. İkinci durum olan otobüsün otobüsü takip etmesi durumu için 1 saatlik periyotta yalnız 4 gözlem verisi elde edilebilmiştir).

Sinyalize kavşaklarda kuyruk boşalmasını modellemek amacıyla Akçelik ve Associates [3] tarafından basit bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem sinyalize olmayan kavşaklara aşağıdaki şekilde uyarlanabilmektedir.

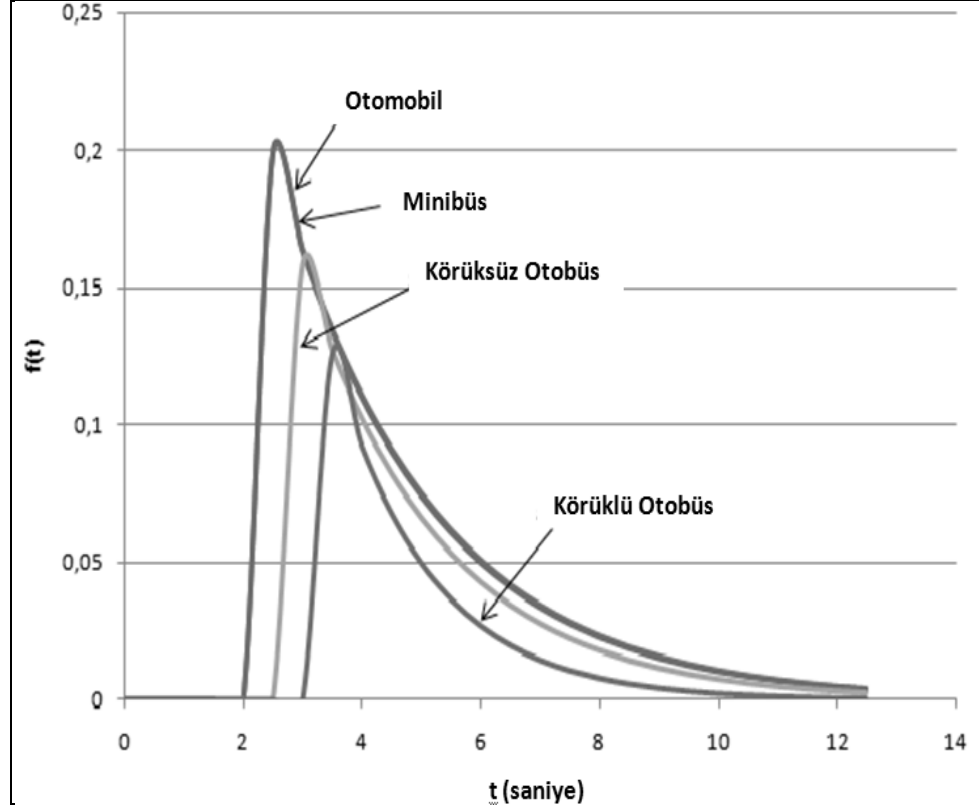
- Gözlemlerden otomobillerin ortalama hız değerleri çıkartılmıştır.
- Ana akımdaki otomobillerin ortalama hız ve en küçük aralık değerleri kullanılarak en küçük aralık değeri, mesafe cinsinden aralık değerine dönüştürülmüştür.
- Otomobil ve ağır araçların uzunluklarındaki farklılık mesafe cinsinden aralık değerine eklenmiştir.
- Ağır araçların mesafe cinsinden aralık değeri ana akımın ortalama hızını kullanarak yeniden zaman cinsinden aralık değerine dönüştürülmüştür.

Tablo 7. Ağır Araçlar için en küçük aralık değerleri

Kavşak	$\Delta_{otm}$ (saniye)	Hız (km/s)	Aralık (m)	$\Delta_{mb}$ (saniye)	$\Delta_{OTB.Körüksüz}$ (saniye)	$\Delta_{OTB.Körüklü}$ (saniye)
Montro sağ 1	2,2	30	24,44	2,31	2,83	3,37
Montro sol 1	1,8	30	20,00	1,91	2,43	2,97
Montro sağ 2	2,9	30	32,22	3,01	3,53	4,07
Montro sol 2	1,9	30	21,11	2,01	2,53	3,07
Bornova sağ 1	2,8	30	31,11	2,91	3,43	3,97
Bornova sol 1	1,9	30	21,11	2,01	2,53	3,07
Bornova sağ 2	2,0	30	22,22	2,11	2,63	3,17
Bornova sol 2	2,0	30	22,22	2,11	2,63	3,17
Cumhuriyet sol	1,6	30	17,78	1,71	2,23	2,77
Cumhuriyet sağ	1,8	30	20,00	1,91	2,43	2,97
Lozan sol	2,1	30	23,33	2,21	2,73	3,27
Lozan sağ	2,5	30	27,78	2,61	3,13	3,67
Alsancak Gar sol	2,6	30	28,89	2,71	3,23	3,77
Alsancak Gar orta	2,9	30	32,22	3,01	3,53	4,07
Alsancak Gar sağ	2,6	30	28,89	2,71	3,23	3,77

Tablo 7’de, dönen araçların ortalama hızlarının 30 km/saat olduğu kabulüyle hesaplanmış olan; otomobil ve ağır araçlara ait  $\Delta$  değerleri verilmiştir. Tablodaki  $\Delta$  değerleri, Tanyel [1], Tanyel ve Yayla [19] ve Aydemir’in [28] çalışmalarından alınmıştır. Taşıt uzunlukları Tablo 5’ten alınmıştır. Tablo 7’de,  $\Delta_{otm}$  otomobillerin en küçük aralık değerleri;  $\Delta_{mb}$  minibüslerin en küçük aralık değerleri;  $\Delta_{OTB.Körüksüz}$  ve  $\Delta_{OTB.Körüklü}$  sırasıyla körüksüz ve körüklü otobüsler için en küçük aralık değerleridir.  $\Delta_{otm}$  değerleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Yöntem ile ilgili detaylar Sullivan ve Troutbeck [29], Troutbeck [30], Hagring [28] ve Luttinen [31]’den bulunabilmektedir.

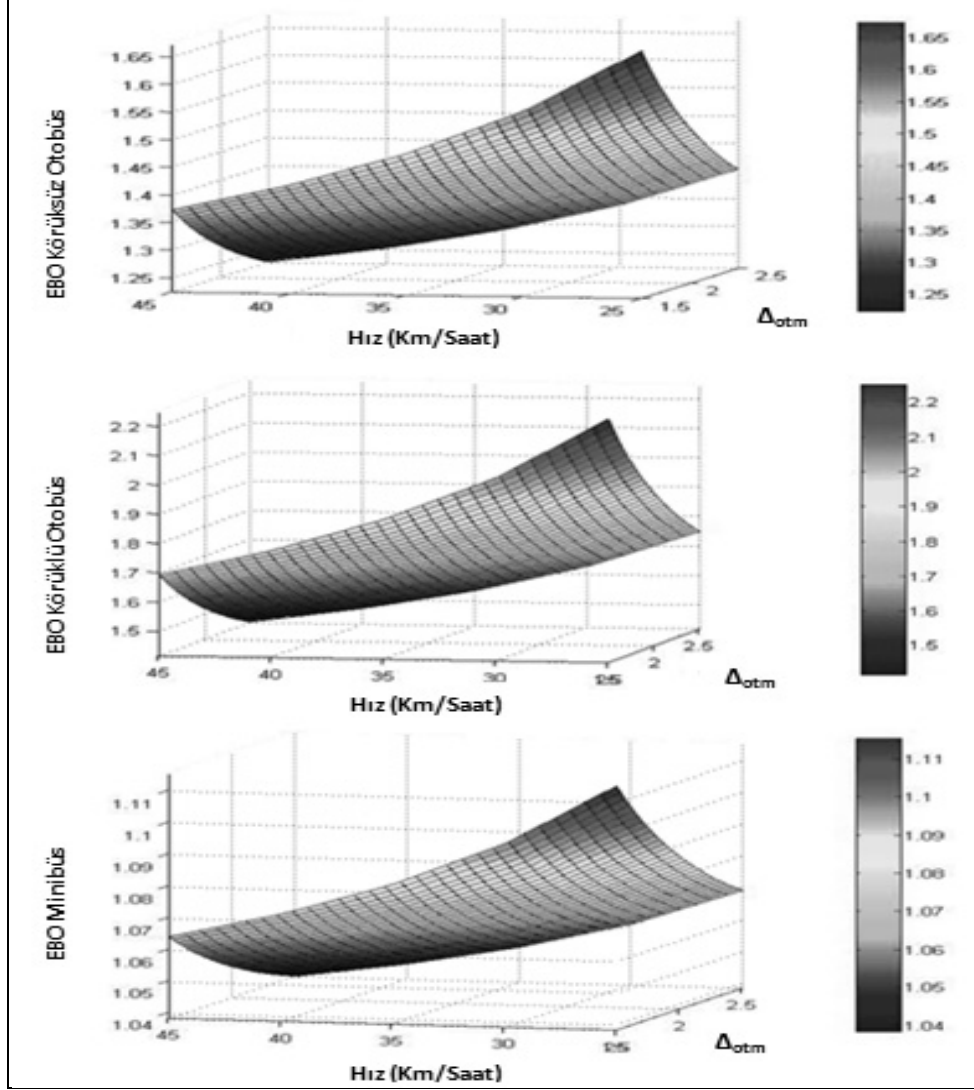
Tablo 7’den de görülebildiği gibi,  $\Delta_{mb}$  değerleri  $\Delta_{otm}$  değerlerine oldukça yakındır, dolayısıyla minibüs ve otomobiller aynı taşıt grubunda varsayılabilir. Beklenildiği gibi ana farklılık otomobil ve otobüsler arasında gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Otomobiller, minibüsler, körüksüz ve körüklü otobüsler için olasılık yoğunluk dağılım grafikleri

Şekil 3'te otomobiller, minibüsler, körüksüz ve körüklü otobüsler için verilen olasılık yoğunluk fonksiyonları grafikleri, trafik akımının 1000 otomobil/saat, 1000 minibüs/saat, 1000 körüksüz otobüs/saat ve 1000 körüklü otobüs/saat olması koşulları ile ve  $\Delta_{otm}$ 'nin 2 saniye olduğu kabulü yapılarak araç tipleri arasındaki farklılıkları vurgulamak için çizilmiştir. Minibüsler ve otomobillerin yaklaşık olarak aynı grafiğe sahip olduğu oldukça açıktır. Fakat körüksüz ve körüklü otobüslere ait grafiklerin pik yükseklikleri  $\Delta$  değerlerinden dolayı sağa doğru ötelenmiştir. Şekil 4'te, EBO değerlerinin dönen akım içerisindeki  $\Delta_{otm}$  ve ortalama hızlarına göre değişimi gösterilmiştir.  $\Delta_{otm}$  ve ortalama hız değerlerinin düşük olması durumunda, EBO değerleri artmaktadır. Trafik akımının yavaş hareket etmesi durumunda, ağır araçların etkisinin daha açık olduğu görülmektedir.





Şekil 4. Dönen akım içerisindeki taşıtların  $\Delta_{otm}$  ve ortalama hızlarına göre EBO değerlerinin değişimi

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Literatürde ağır araç etkisi belirlenirken, yukarıda da açıklandığı gibi, tek bir EBO değerinin kullanılması genel kabul olarak ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, söz konusu kabulden kaynaklanabilecek yetersiz veya aşırı tasarım oranları dikkate alınmamaktadır. Aşırı tasarım sonucunda, kavşak çapının olması gerekenden büyük seçilmesi; dönüş şeridi sayısının ve genişliğinin artırılması hem daha fazla alana ihtiyaç

### *Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi*

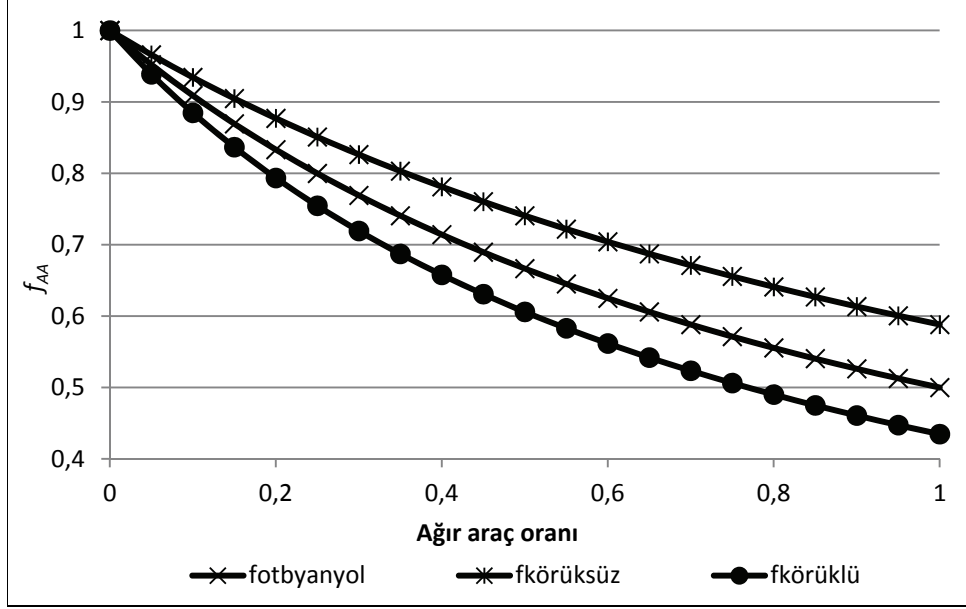
duyulması sebebiyle tasarım güçlüklerini beraberinde getirecek; hem de kavşağın ekonomikliğini azaltacaktır. Diğer yandan kavşağın kontrol özelliklerinin tekrar tanımlanması gibi sonuçlar doğurabilecektir (katılım açıları, yaya geçitlerinin uzunlukları; kavşağı kullanan araçların ortalama hızlarındaki farklılıklar vb.). Yine aşırı tasarım kavşağın yuvarlak ada kavşak yerine sinyalizasyon kavşağına dönüştürülmesi gibi bir eğilimi de beraberinde getirebilir. Yetersiz tasarım ise kavşağın beklenenden çok daha önce tıkanması ve başarımının düşmesi gibi sonuçlar doğurabilecektir. Ağır araç trafiğinin büyük önem taşıdığı ülkemizde bu farklılığın getireceği sonuçların daha sağlıklı anlaşılabilmesinin büyük önem taşıdığı düşünülmektedir. Özellikle, karayoluna bağlı toplu taşımacılık oranlarının çok yüksek olması, söz konusu tasarım hatalarının belirlenmesini daha da önemli hale getirmektedir.

Daha önce de belirtildiği aaSIDRA Akçelik & Associates [2] ve HCM [15]'de ağır araç EBO değeri olarak standart 2,0 ebo/taşıt değeri kullanılmaktadır. Bu değer, genel olarak kamyon ve körüksüz otobüsler için kabul edilebilir bir değer olarak ele alınabilir. Ancak TS6407 [4]'de bu değer dönel kavşaklar için 2,80 ebo/taşıt olarak alınmıştır. Bu çalışma kapsamında ise körüksüz ve körüklü otobüsler için EBO değerleri yanyol akımında 1,67~1,98 ve 1,76~2,09 ebo/taşıtlık; anayol akımında ise 1,22~1,67 ve 1,41~2,25 ebo/taşıtlık olarak bulunmuştur. Söz konusu değerler incelendiğinde TS6407 [4]'ün kabul ettiği EBO değerinin sistemin aşırı tasarlanması gibi bir sonuç doğurabileceği görülmektedir. Diğer yandan 2,0 ebo/taşıtlık değeri ise değişik koşullar altında farklı tasarım hatalarına yol açabilecektir.

Farklı araç türlerinin kavşak başarımı üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için akım içindeki ağır araç kompozisyonunun sadece körüksüz ve körüklü otobüslerden meydana gelmesi durumunun daha açıklayıcı olabileceği düşünülmüştür. Bu doğrultuda EBO değerinin 1,7 (körüksüz otobüsler için EBO üst sınırı), 2,0 (genel kabul edilen değer) ve 2,3 (körüklü otobüsler için EBO üst sınırı) olması koşulları için  $f_{AA}$  değerleri değişik ağır araç yüzdeleri için hesaplanmıştır (Şekil 5).

Şekil 5'te akım içindeki %5'lik ağır araç oranının bile önemli olduğu düşünülmüştür. Şekil incelendiğinde, 2,0 EBO değerinin iki araç cinsinin tam ortasında bir eğri verdiği görülmektedir. Bu da ağır araçların ancak eşit körüklü ve körüksüz otobüslerden oluşması durumunda 2,0 değerinin uygun sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Buna göre farklı araç tip yüzdelerinin etkisinin de fazla olabileceği söylenebilir.

Yukarıdaki varsayımı daha iyi açıklayabilmek için çalışmada örnek olarak anayol akımının (dönen akımın) 600 taşıt/saat; yanyoldan kavşağına girmek isteyen taşıt talebinin ise 700 taşıt/saat olduğu tek dönüş ve tek giriş şeritli bir yuvarlakada kavşak yaklaşımı ele alınmıştır. Söz konusu kavşakta anayoldaki araçlar arasındaki en küçük zaman cinsinden takip aralığı değeri ( $\Delta$ ) 1,8 saniye; yanyoldaki sürücülere ait kritik aralık kabul değeri ( $T_{otm}$ ) ile takip aralığı değerleri ( $T_{otm}$ ) ise sırasıyla 4,0 saniye ve 2,0 saniye alınmıştır. Anayoldaki araçların birbirlerini Cowan M3 dağılımına uygun aralıklarla takip ettikleri kabul edilirse, yanyol kapasitesi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilmektedir [1]:



Şekil 5. Değişik EBO değerine bağlı  $f_{AA}$  eğrileri

$$Q_e = \frac{Q_{ca} \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (21)$$

Burada  $Q_{ca}$ , düzeltilmiş ana akım değerini (ebo/saat);  $Q_e$  yanyol kapasitesini (ebo/saat) ifade etmektedir.  $Q_{ca}$  değerinin hesaplanmasında kullanılan  $f_{AA}$  değeri bulunurken, akım içindeki ağır araçların körüksüz ve körüklü otobüslerden meydana gelebileceği kabul edilmiş ve bu iki taşıt türünün ağır araçlar içindeki oranlarının ilişkilendirilmesinde aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır:

$$\%p_{körüksüz} = 1 - \%p_{körüklü} \quad (22)$$

$f_{AA}$  değeri ise Akçelik ve Associates [3] tarafından önerilmiş olan (4) bağıntısının farklı araç türleri için yenilenmiş hali kullanılmıştır. Bağıntıda %5 ağır araç oranının da önemli olduğu kabul edilmiştir:

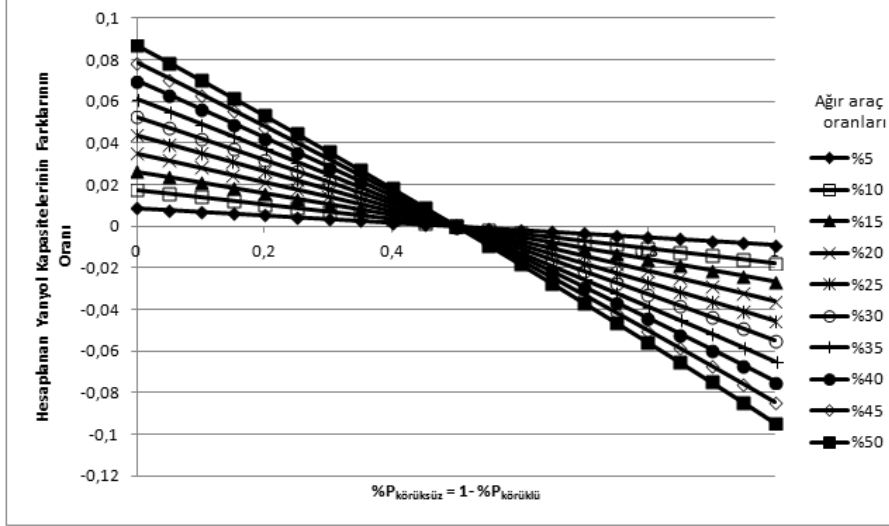
$$f_{AA} = \frac{1}{\left\{ 1.0 + \sum_{i=1}^n 0.5(EBO_{AAi} - 1.0) \left[ p_{AAi} + \sqrt{(P_{AAi})^2 + 0.001 \frac{P_{AAi}}{(EBO_{AAi} - 1.0)}} \right] \right\}} \quad (23)$$

Yukarıdaki kabuller ve bağıntılar kullanılarak EBO değerinin standart 2,0 ebo/taşıtlı seçilmesi durumu ile ağır araçların körüksüz ve körüklü otobüslerden meydana gelmesi durumundaki kapasitedeki farkların oranları Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde eğriler, ağır

### Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi

araç oranının %5~%50 arasında değişmesi koşulları için çizilmiştir. Oranlar, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır:

$$Yanyol\ kapasite\ fark\ oranları = \frac{(Q_{e(2,0)} - Q_e')}{Q_{e(2,0)}} \quad (24)$$



Şekil 6. EBO değerinin standart 2,0 ebo/taşıtlı seçilmesi durumu ile ağır araçların körüksüz ve körüklü otobüslerden meydana gelmesi durumundaki kapasitedeki farkların oranları

Bağıntıda  $Q_{e(2,0)}$  EBO değerinin 2,0 ebo/taşıtlı olması durumundaki kapasiteyi;  $Q_e'$  ise ağır araç yüzdesinin farklı araç tiplerinden oluşması durumundaki kapasiteyi ifade etmektedir. Şekil 6 incelendiğinde, ağır araçların sadece körüksüz otobüslerden meydana gelmesi durumunda kapasitenin standart durumdan (EBO=2,0) %10 oranında daha yüksek hesaplandığını; ağır araçların sadece körüklü otobüs olmaları durumunda ise kapasitenin standart durumdan yaklaşık %10 oranında daha düşük hesaplandığını göstermektedir. %10 önemli bir değer olmakla birlikte, ağır araç etkisi hesabındaki farklılığı tam olarak göstermemektedir. Kavşağın en önemli başarımlar parametrelerinden birisi olan gecikmenin, farklılığı daha belirgin gösterebileceği düşünülmüştür. Bu amaçla Troutbeck [30] tarafından önerilmiş olan aşağıdaki gecikme bağıntısı kullanılmıştır [26]:

$$D = d_m + 900T_{goz} \left[ (\rho - 1) + \sqrt{(\rho - 1)^2 + \frac{8k\rho}{Q_e T_{goz}}} \right] \quad (25)$$

Bağıntıda D, araç başına ortalama gecikme (saniye);  $d_m$ , yanyol sürücülerinin maruz kaldığı en küçük gecikme değeri (saniye);  $T_{goz}$ , gözlem süresi (genelde 0,25 saat olarak kabul

edilir);  $\rho$  yanyola ait doyunluk derecesi,  $k$  gecikme parametresidir.  $d_m$  ve  $k$  değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [7] [26]:

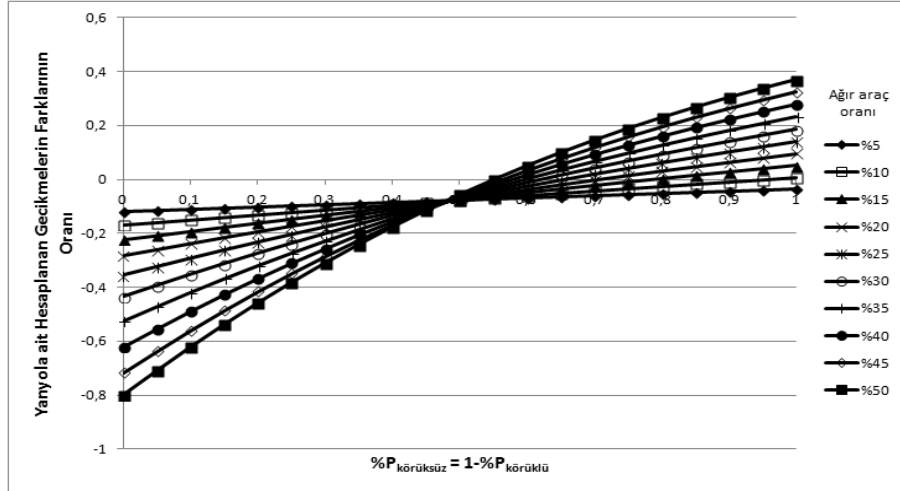
$$d_m = (1 - T_0 q_e) \left( \frac{e^{\lambda(T-\Delta)}}{\alpha q_{ca}} - \frac{1}{\lambda} - 0,5T_0 \right) \quad (26)$$

$$k = \frac{d_m Q_e}{3600} \quad (27)$$

Bağıntılarda  $q_e$ , yanyol kapasitesi (araç/saniye);  $q_{ca}$ , düzeltilmiş ana akımdır (ebo/saniye). Yöntemler arası farklılığı daha iyi tanımlayabilmek için gecikme değerlerindeki fark oranları kapasiteye benzer şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Hesaplanan Yanyol Kapasitelerinin Farklarının Oranı} = \frac{D_{(2,0)} - D'}{D_{(2,0)}} \quad (28)$$

Burada  $D_{(2,0)}$ , EBO değerinin 2,0 ebo/taşıtlı olması durumundaki ortalama gecikmeyi,  $D'$  ise ağır araç yüzdesinin farklı araç tiplerinden oluşması durumundaki ortalama gecikmeyi ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 7'de sunulmaktadır. Şekilde eğriler, ağır araç oranının %5~%50 arasında değişmesi koşulları için çizilmiştir. Şekil incelendiğinde, EBO değerinin de 2,0 olduğu kabulü dikkate alınarak; anaakımdaki ağır araçların sadece körüksüz otobüslerden oluşması durumunda gecikmenin %40 oranında fazla; ağır araçların sadece körüklü otobüslerden oluşması durumunda ise %80 oranında daha düşük hesaplanabileceği anlaşılmaktadır. Bu sonuç, farklı araç türleri için farklı EBO değerlerinin kullanılmasının nedenli önemli olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 7. EBO değerinin standart 2,0 ebo/taşıtlı seçilmesi durumu ile ağır araçların körüksüz ve körüklü otobüslerden meydana gelmesi durumundaki gecikmedeki farkların oranları

## **6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada yuvarlakada kavşaklardaki ağır araçların etkisi İzmir'deki 5 farklı yuvarlakada kavşakta yapılan gözlemler yardımıyla incelenmiştir. Yapılan analizlerde toplu taşımada etkin görev alan otobüsler ve minibüsler üzerinde durulmuş, kamyonlar çalışma kapsamına alınmamıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Farklı akım koşullarındaki ağır araçların etkisi hakkında daha detaylı bir inceleme yapmak amacıyla analizler, yanyol ve ana yol akımları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Analizlerden aşağıdaki yorumlar yapılabilmektedir.

- Yanyol akımında minibüsler için EBO değerleri 1,18~1,26 arasında (ortalama 1,22) ve ana yol akımında 1,04~1,12 değerleri arasında (ortalama 1,08) değişiklik göstermektedir.
- Yanyol akımında körüksüz ve körüklü otobüsler için EBO değerleri 1,67~1,98 (ortalama 1,83) ve 1,76~2,09 aralığında (ortalama 1,93) değişmektedir. Bu durumda körüksüz ve körüklü otobüslerin yanyol akımı için benzer etki yarattığı varsayılabilir. Diğer yandan, ana akımdaki EBO değerleri körüksüz otobüsler için 1,22~1,67 (ortalama 1,45) ve körüklü otobüsler için 1,41~2,25 (ortalama 1,83) olarak elde edilmiştir.

Yukarıda verilen sonuçlar, ağır araç oranı ( $f_{AA}$ ) değerlerini hesaplarken yanyol ve ana yol akımı için farklı EBO değerlerinin kullanılması gerektiğini göstermiştir. Analizler de tüm ana akım ve giriş akımı için tek EBO değerinin kullanılması yerine yukarıda verilen değerler arasında farklı EBO değerlerinin kullanılmasının mühendisler için analizlerde daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Çalışmada minibüsler için elde edilen değerler incelendiğinde anayoldaki EBO değerlerinin 1,0'e oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Bu durumda kavşak analizlerinde dönen akım içindeki minibüsler, otomobil olarak kabul edilebilir gözükmektedir. Ancak yanyol akımında minibüslerin etkisinin dikkate alınması gerektiği açıktır. Bunda özellikle yolcu minibüslerinin fazla sayıda olduğu Bornova kavşağı gibi kavşaklarda minibüs sürücülerinin trafik akımını olumsuz yönde etkileyen davranışları mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmada elde edilen EBO değerleri incelendiğinde TS 6407'de otobüsler için verilen değerlerden farklı sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Bu sebeple yakın tarihli bir çalışma ile bu değerlerin revize edilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın diğer bir sonucu da ana akımdaki ortalama hız değerinin düşük olması durumunda, ana akımdaki ağır araçların etkisinin oldukça belirgin olmasıdır. Bu ayrıca ağır araçların giriş şeritlerinin önünü daha uzun süre bloke edecekleri anlamını taşımaktadır.

Bu çalışma İzmir'deki 5 farklı kavşaktan elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. İleride yapılacak araştırmalarda, gözlemlerin ve gözlem yapılan kavşakların sayısı artırılarak hesaplarda kullanılacak olan EBO değerlerini daha çok veriyle elde etmek mümkün olabilecektir. Böylece kavşak ve yanyol akımı başlıca analizlerinde daha doğru sonuçlar elde edilebilecek ve kavşak tasarımını bu doğrultuda yapmak mümkün olacaktır.

### Semboller

$A_{ort}$	: Ortalama ivmelenme oranı (km/saat/saniye)
$a_{aAA}$	: Ağır araçlar için ortalama ivmelenme oranı (km/saat/saniye)
$a_{aHA}$	: Hafif araçlar için ortalama ivmelenme oranı (km/saat/saniye)
$D_i$	: Kavşağın çapı (metre)
$D$	: Araç başına ortalama gecikme (saniye)
$D'$	: Ağır araç yüzdesinin farklı araç tiplerinden oluşması durumundaki ortalama gecikme (saniye)
$EBO_{AA}$	: Bir ağır aracın otomobil eşdeğerliği
$EBO_{AAi}$	: Ağır araç tür "i" için EBO değeri
$F(t)$	: Tüm taşıt türlerine ait aralıkların olasılık yoğunluk fonksiyonu
$f_{aHA}$	: Kavşaklarda hafif araçlar için bir düzeltme faktörü
$f_{AA}$	: Kavşaklardaki ağır araçlar için düzeltme faktörü
$f_{AAc}$	: $p_{AA}$ 'yi ağır araç oranı olarak kullanarak hesaplanan ağır araç düzeltme faktörü
$G_r$	: Yaklaşım derecesi (%)
$K$	: Gecikme parametresi
$M_{AA}$	: Ağır araç kütlesi (kg)
$n_c$	: Kavşak içindeki şerit sayısı
$n_{çıkış}$	: Çıkış yapan şeritlerin sayısı
$n_{giriş}$	: Kavşağa giriş yapan şeritlerin sayısı
$p_1, p_2$ ve $p_3$	: Hafif araçlar için verilen ivmelenme oranı kalibrasyon parametresi
$p_{otm}$	: Otomobil oranı
$p_{AA}$	: Ağır araç oranı
$p_{AAi}$	: Ağır araç tür "i" için trafik akımındaki ağır araç oranı
$P_i$	: Taşıt türü "i" nin akım içerisindeki oranı
$P_{maks.}$	: Motor güç oranı
$q_c$	: Ana akım (taşıt/saniye)
$Q_c$	: Ana akım oranı (taşıt/saat)
$Q_{ca}$	: Düzeltilmiş akım oranı (eob/saat)
$Q_{talepotm}$	: Talep akımındaki otomobillerin sayısı
$Q_{talepAA}$	: Talep akımındaki ağır araçların sayısı
$q_{eotm}$	: Yalnız otomobillerden oluşan giriş akımını kapasitesi (taşıt/saniye)

### *Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi*

$Q_{eAA}$	: Yalnız ağır araçlardan oluşan giriş akımını kapasitesi (taşıt/saniye)
$T_{0AA}$	: Ağır araçlar için ortalama takip aralığı (saniye)
$T_{0otm}$	: Otomobiller için ortalama takip aralığı (saniye)
$T_{goz}$	: Gözlem süresi (genelde 0,25 saat olarak kabul edilir)
$t_a$	: İvmelenme zamanı (saniye)
$t_{aAAi}$	: Ağır araç tür “i” için ivmelenme zamanı
$t_{AHA}$	: Hafif araç (otomobil) ivmelenme zamanıdır
$T_{otb}$	: Otobüslerin ortalama kritik aralığı (sn)
$T_{otm}$	: Otomobillerin ortalama kritik aralığı (sn)
$T_{AA}$	: Ağır araçlar için ortalama kritik aralık değeri (sn)
$v_s$	: İvmelenmedeki son hız (km/saat)
$v_b$	: İvmelenmedeki başlangıç hızı (km/saat)
$w_c$	: Dönüş alanının genişliği (metre)
$w_{çıkış}$	: Çıkış şeritlerinin genişliği (metre)
$w_{giriş}$	: Kavşağa giriş yapan şeritlerin genişlikleri (metre)
$w_{refüj}$	: Refüj genişliği (metre)
$\alpha$	: Akımdaki serbest araç oranı
$\Delta$	: Taşıtlar arasındaki en küçük aralıklar
$\Delta_{OTB.Körüksüz}$	: Körüklü otobüsler için en küçük aralık değeri
$\Delta_{otm}$	: Otomobiller için en küçük aralık değeri (saniye)
$\Delta_{AA}$	: Ağır araçlar için en küçük aralık değeri (saniye)
$\Delta_{mb}$	: Minibüsler için en küçük aralık değeri (saniye)
$\Delta_{OTB.Körüklü}$	: Körüksüz otobüsler için en küçük aralık değeri (saniye)
$\Phi$	: Kesişme açısı
$Q_{e(2,0)}$	: EBO değerinin 2,0 ebo/taşıtlar olması durumundaki kapasite
$Q_e$	: Ağır araç yüzdesinin farklı araç tiplerinden oluşması durumundaki kapasite
$\rho$	: Yanyola ait doyumluk derecesi

### **Kaynaklar**

- [1] Tanyel, S., Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- [2] Akcelik & Associates., aaSIDRA User Guide. Akcelik and Associates Pty Ltd, Melbourne, Australia, 2004.



- [3] Roess, R., Prassas, S. and McShane, W., Traffic Engineering. Toronto: Prentice Hall, 2004.
- [4] Türk Standartları Enstitüsü., Kentsel alanlarda otomobil eşdeğerliği (Türk Standartları TS6407), Ankara, 1989.
- [5] Gedizlioğlu, E., Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1979.
- [6] Tanyel, S., Yuvarlakada kavşaklarda anaakımdaki ağır araç yüzdesinin yanyol kapasitesi üzerindeki etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(1), 19-30, 2005.
- [7] Akçelik, R., Roundabouts: capacity and performance analysis. ARRB Research Report ARR 321, Vermont, Australia, 150p., 1998.
- [8] Hoogendoorn, S.P. and Bovy, P.H.L. A new estimation technique for vehicle-type specific headway distributions. Transportation Research Record. 1646, 18-28, 1998.
- [9] Fisk, C., Traffic performance analysis at roundabouts. Transportation Research Part B, 25 (2-3), 89-102, 1991.
- [10] Li, W., Wang, W., Jiang, D., Capacity of unsignalised intersections with mixed vehicle flows. Transportation Research Record, 1852, 265-270, 2003.
- [11] Dahl, J., Lee, C., Factors Affecting Capacity Estimation for Roundabouts with High Truck Volume. The 3rd International Conference on Roundabouts, Carmel, Indiana, 2011.
- [12] Tanner J.C. The capacity of an uncontrolled intersection. Biometrika 54 (3-4), 1967.
- [13] Troutbeck R.J., Unsignalized Intersections and Roundabouts in Australia: Recent Developments, W. Brilon (ed.) Intersection without Traffic Signals II. Proceedings of an International Workshop in Bochum, Germany, 1991.
- [14] Transportation Research Board (TRB). Highway capacity manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., U.S.A., 2000.
- [15] Transportation Research Board (TRB). Highway capacity manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., U.S.A., 2010.
- [16] Troutbeck, R., Background of HCM section on analysis of performance of roundabouts, *Transportation Research Record*, 1646, 54-63, 1998.
- [17] Akçelik, R., Besley, M., Acceleration and deceleration models. In: 23rd Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2001). University of South Australia, Adelaide, Australia, 2001.
- [18] Akçelik & Associates., aaSIDRA User Guide. Akcelik and Associates Pty Ltd, Melbourne, Australia, 2010.
- [19] Tanyel, S., Yayla, N., A discussion on the parameters of Cowan M3 distribution for Turkey. Transp. Res. Part A: Policy Pract., 37(2), 129-143, 2003.

- [20] Tanyel, S., Yayla, N., Dönel kavşakların kapasitesi üzerine bir tartışma. IMO Teknik Dergi, 4935-4958, 2010.
- [21] Tanyel, S., Baran,T., Ozuysal, M., Applicability of various capacity models for sinle~lane roundabouts in Izmir, Turkey. Journal of Transportation Engineering, 133 (12), 647-653, 2007.
- [22] Ozuysal, M., Çalışkanelli, S.P., Tanyel, S., Baran,T., Capacity prediction for traffic circles: applicability of ANN. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 162(4), 195-206, 2009.
- [23] Çalışkanelli, P., Ozuysal, M., Tanyel, S., Yayla, N., Comparison of different capacity models for traffic circles. Transport 24(4), 257-264, 2009.
- [24] Aydemir, T., Tanyel, S., Çok şeritli dönel kavşaklar üzerinde OD matrisinin etkisi, 6. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 2005.
- [25] Akçelik, R., Chung, E. Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways. Road ve Transport Research, 3, 42-59, 1994.
- [26] Hagring, O., Roundabout entry capacity. Bulletin 135, Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund, Sweden, 1996.
- [27] Hagring,O., Vehicle~vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity. Bulletin 159, Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund, Sweden., 1998.
- [28] Aydemir, T., Başlangıç-Son matrisinin İzmir'deki dönel kavşak giriş kapasitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006.
- [29] Sullivan, D.P., Troutbeck, R.J., The use of cowan's M3 headway distribution for modelling urban traffic flow. Traffic Eng. Control, 35(7-8), 445-450, 1994.
- [30] Troutbeck, R., A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters. Traffic Eng. Control, 38(11), 600-603, 1997.
- [31] Luttinen, R.T., Properties of Cowan's M3 headway distribution. Transportation Research Board (Washington D.C.: Transportation Research Board), 1678, 189-196, 1999.