

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAŞLANGIÇ – SON MATRİSİNİN
İZMİR’ DEKİ DÖNEL KAVŞAK GİRİŞ
KAPASİTESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Tuna AYDEMİR

Eylül, 2006
İZMİR

**BAŞLANGIÇ – SON MATRİSİNİN
İZMİR’ DEKİ DÖNEL KAVŞAK GİRİŞ
KAPASİTESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı**

Tuna AYDEMİR

Eylül, 2006

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

TUNA AYDEMİR, tarafından **YARDIMCI DOÇENT DR. SERHAN TANYEL** yönetiminde hazırlanan “**BAŞLANGIÇ – SON MATRİSİNİN İZMİR’ DEKİ DÖNEL KAVŞAK GİRİŞ KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Yard. Doç. Dr. Serhan TANYEL

Danışman

.....
.....
Jüri Üyesi

.....
.....
Jüri Üyesi

.....
Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin karar aşamasında büyük katkısı olan, tüm öğrenim hayatım boyunca bana olan güvenini eksik etmeyen destekçilerim annem Fikriye Aydemir ve babam Zeki Aydemir' e, eşleriyle birlikte çekirdek ailemizin büyümesini sağlayan, sevgileri ve ilgileriyle küçük kardeş olmamın keyfini yaşatan ablalarım Pınar Kara ve Tuğba Sümbül' e, tezin hazırlanmasında üstün bilgi birikimi ve önerilerinden faydalandığım, çalışma saatleri dahil tüm konularda büyük yardımı olan danışmanım Yard. Doç. Dr. Serhan Tanyel' e teşekkürlerimi sunarım.

Tuna AYDEMİR

**BAŞLANGIÇ – SON MATRİSİNİN
İZMİR’ DEKİ DÖNEL KAVŞAK GİRİŞ KAPASİTESİ
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

ÖZ

Trafiğin olumsuz etkilerine karşı önemli bir çözüm yöntemi olarak kabul edilen, dünyada geniş uygulama alanı bulunan dönel kavşakların Türkiye’de uygulanabilirliği, özellikle kapasite ve gecikme açısından incelenmiş yeni bir parametre bağıntısı önerisinde bulunulmuştur.

Çalışmada, İzmir’ deki dönel kavşaklar incelenerek veriler elde edilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak Excel tablosu yardımıyla değişik koşullar için iki dönüş ve her yaklaşımında iki giriş şeridi bulunan bir dönel kavşakta, OD (başlangıç- son) matrisinin etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Dönel kavşaklar, kapasite, serbest araç oranı (α)

EFFECT OF OD FLOWS ON ENTRY CAPACITY OF MULTI-LANE ROUNABOUTS IN IZMIR

ABSTRACT

Applicability of roundabouts in Turkey, which is one of the most preferred solutions in decreasing accident rates and applied widely around the world, is tried to be investigated especially from capacity and delay point of views. A capacity analysis method is suggested.

By using the data obtained from roundabouts in İzmir, the effect of OD matrix on a two lane roundabout which has two entry lanes on each approach. An Excel worksheet is used for this analysis.

Keywords: Roundabouts, capacity, proportion of free vehicles (α)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
BİRİNCİ BÖLÜM – GİRİŞ.....	1
İKİNCİ BÖLÜM – EŞDÜZEY KAVŞAKLAR.....	5
2.1 Eşdüzey kavşak tipleri.....	5
2.1.1 Kavşakların Düzenlenmesinde ve Planlanmasında Göz Önünde Tutulması Gerekli Haller.....	5
2.1.2 Kavşak Tipleri.....	8
2.2 Dönel Kavşaklar.....	11
2.2.1. Dönel Kavşak Tanımı ve Yeni Tip Dönel Kavşakların Özellikleri.....	11
2.2.2 Yeni Tip Dönel Kavşakların Uygulanmasını Gerektiren Koşullar.....	24
2.2.3 Trafik Kazaları ve Dönel Kavşaklar.....	28
2.2.4 Dönel Kavşakların Geometrik Özellikleri.....	29
2.2.4.1 Proje Tip Aracı ve Hızı.....	30
2.2.4.2 Görüş Mesafesi.....	31
2.2.4.3 Sapma Derecesi.....	32
2.2.4.4 Orta Ada Çapı.....	32
2.2.4.5 Dönüş Şeridi Genişliği.....	33

2.2.4.6 Giriş ve Çıkış Şeritleri.....	33
2.2.4.7 Ayırıcı Ada.....	34
2.2.4.8 Kavşak İşaretlemeleri, Aydınlatma ve Çevre Düzenlemesi.....	34

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM - DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTELERİNE ETKİYEN DEĞİŞKENLER.....36

3.1 Geometrik Parametreler.....	36
3.1.1 Yaklaşım Genişliği, Giriş Genişliği ve Giriş Şeridi Sayısı.....	39
3.1.2 Girişte Genişlemenin Keskinlik Derecesi.....	39
3.1.3 Karışıklık (Ayrılma ve Kesişme) Noktaları Arasındaki Mesafe.....	40
3.1.4 Kavşağın Dıştan Dışa Çapı.....	40
3.1.5 Dönüş Şeridi Sayısı ve Örüme Alanının Genişliği.....	41
3.1.6 Kesişme Açısı.....	42
3.1.7 Giriş Kolundaki Ayırıcı Ada Genişliği.....	42
3.2 Trafik Akım Parametreleri.....	42
3.2.1 Ana Akım.....	44
3.2.1.1 Yaklaşımın Önündeki Ana Akım.....	44
3.2.1.2 Dönen Akımın Birleşme Manevralarına Bağlı Olarak Düzeltilmesi.....	44
3.2.1.3 Aynı Koldan Çıkan Akımın Etkisi.....	45
3.2.2 Hız.....	46
3.2.3 Ağır Araç Oranı.....	46

3.2.4 Yayalar.....	47
3.3 Dönel Kavşak Kapasitesinin İncelenmesinde Kullanılan	
İstatistiksel Dağılımlar.....	48
3.3.1 Trafik Akım Modelleri.....	48
3.3.2 Trafik Modellerinde Kullanılan İstatistiksel Dağılımlar.....	51
3.3.2.1 Makroskopik Modeller.....	51
3.3.2.2 Mikroskopik Modeller.....	52
3.3.2.3 Basit İstatistiksel Modeller.....	53
3.3.2.4 Karmaşık İstatistiksel Modeller.....	56
3.4 Cowan M3 Dağılımı.....	58
3.4.1 Cowan M3 Dağılımının Parametreleri Hakkında İncelemeler.....	61
3.4.1.1 Minimum Zaman Cinsinden Aralık Değeri (Δ).....	62
3.4.1.2 Serbest Araç Oranı (α).....	63
3.4.2 Dağılımın Parametrelerinin Belirlenmesi.....	66

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM - DÖNEL KAVŞAK KAPASİTE

HESAP YÖNTEMLERİ.....	68
4.1 Kapasitenin Tanımı.....	68
4.2 Kritik Aralık Kabulü Yöntemi.....	72
4.2.1 Genel.....	72

4.2.2 Yöntemin Dayandığı Temeller.....	75
4.2.3 Kritik Aralık Değerinin Belirlenmesi.....	77
4.2.4 Tek Şeritli Dönel Kavşakların Kapasitesinin Belirlenmesi.....	83
4.3 Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	89
4.3.1 Fisk Yöntemi.....	89
4.3.1.1 Çok Şeritli Dönel Kavşaklar.....	89
4.3.1.2 Ağır Araç Etkisi.....	95
4.4 Gecikme.....	97
4.5 Çok Şeritli Dönel Kavşaklarda Kapasitenin Belirlenmesi.....	103
4.6 Özel Durumlar.....	107
4.6.1 Ters Öncelik ve Sınırlı Öncelik Koşulları.....	108
4.6.2 Ağır Araç Etkisi.....	110

BEŞİNCİ BÖLÜM - VERİ TOPLAMA YÖNTEMİ VE BU AMAÇLA GÖZLENEN KAVŞAKLAR.....113

5.1 Çalışmada Kullanılan Verilerin Elde Edilmesi.....	113
5.2 Gözlem Verilerinin Elde Edilmesi.....	114
5.2.1 Bornova Merkez Kavşağı.....	115
5.2.2 Montrö Meydanı Kavşağı.....	116
5.2.3 Cumhuriyet Meydanı Kavşağı.....	118
5.2.4 Alsancak Garı Kavşağı.....	119
5.3 Gözlemlerin Yapılmasında Karşılaşılan Güçlükler.....	121

**ALTINCI BÖLÜM - DÖNEL KAVŞAKLAR İÇİN BİR KAPASİTE ANALİZ
YÖNTEMİ ÖNERİSİ.....123**

6.1 Yöntemde Yapılmış Olan Kabuller.....123

6.2 Cowan M3 Dağılımının Parametrelerinin İncelenmesi.....124

6.2.1 Minimum Zaman Cinsinden Aralık Değerlerinin (Δ) İncelenmesi.....124

6.2.2 Ana Akım İçindeki Serbest Araç Oranı (α).....130

6.2.3 Önerilen " α " Bağıntısının, Diğer " α " Bağıntıları İle
Karşılaştırılması.....134

6.3 Kritik Aralık Kabulü Değeri İle Dağılımlarının Belirlenmesi.....136

6.4 Takip Aralığı Değeri.....136

6.5 Kavşaktaki Şeritlerin Kullanımının İrdelenmesi.....137

6.6 OD Matrisinin Kavşak Kapasitesi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi.....140

YEDİNCİ BÖLÜM – SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....149

KAYNAKLAR.....151

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

İnsanlığın tarihsel gelişiminde ulaşım çok önemli bir rol oynamıştır. Yüzyıllar boyunca insanlar, ürünlerini satmak, ihtiyaç duydukları ürünleri almak, yeni yerler görmek ve keşfetmek amacıyla yolculuk yapmış ve bunun sonucunda da toplumlar arası ekonomik, sosyal ve kültürel ilişkiler, zaman içerisinde büyük gelişmeler göstermiştir. Bu yüzyılın başında motorlu taşıtların insanoğlunun emrine girmesi, ulaşım endüstrisinde radikal bir değişikliği meydana getirmiştir.

Asrın başından günümüze doğru 80-90 yıl içinde baş döndürücü bir hızla gerek taşıt adedi, gerekse hız ve yolculuk mesafeleri artmıştır. Bu artışlar, beraberinde çok değişik sorunlar da getirmiştir.

Sosyo-ekonomik gelişmelerin hızla artış gösterdiği günümüzde, ulaşım hizmetlerine olan talep de aynı oranda artmaktadır. Bunun sonucunda ulaşım sistemlerinde ve özellikle karayollarında büyük tıkanmalar olmakta; bunların sonucu zaman kaybı ve gereğinden fazla yakıt tüketimi gibi yüksek maliyet ve çevresel kirlenmelere yol açan etkilerin yanı sıra, daha üzücü olarak kazalar meydana gelmektedir.

Dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde, bu sorunların giderilmesi amacıyla, uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Ulaşım sistemlerinin daha etkin ve güvenli kullanılmasını sağlamaya yönelik önlemler, bu ülkelerde sorunların minimum seviyeye indirilmesi açısından önemli bir aşama kaydedilmesini sağlamıştır.

Türkiye ise 1950'li yıllarda karayolu ulaşım sisteminin gelişmeye başlamasıyla, yukarıda belirtilen sorunlarla karşılaşmaya başlamıştır. Ne yazık ki, gelişmiş

ülkelerde görülen kontrol ve yönetim çalışmalarına ülkemizde aynı hızla başlanamamıştır. Gerek eğitimin, gerekse denetimin yerince yerine getirilememesi, kural tanımaz sürücü davranışları, mühendisliğe dayalı önlemlere yeterince önem verilmemesi gibi faktörler, trafik kazalarının günlük yaşantımızdaki önemini korumasına yol açmaktadır.

Günümüzde trafiğin kazalar, zaman kayıpları ve yakıt tüketimi israfı gibi olumsuz olgularını en aza indirebilmek için çeşitli mühendislik çözümlerine gidilmektedir. Işıklı sinyalizasyon sistemleri, farklı düzeyli kavşak projelendirmeleri, bu amaca yönelik çözümler arasında sayılabilir.

Özellikle trafik sinyalleri, uzun yıllar trafik mühendisleri, yöneticiler ve halk tarafından trafik sıkışıklığı ve kazalar gibi sorunların tek çözümü olarak görülmüştür. Ancak trafik sinyalleri genelde beklentileri karşılamaktan uzak düşmektedir. Durma noktalarının artmasıyla gecikme süreleri uzamakta, kazaların şiddeti yükselme eğilimi göstermekte, sıkışıklık ve sürücü hataları artmaktadır (Wallwork, 1997).

Türkiye'de uzun yıllar boyunca kavşakların gerçek kapasiteleri üzerinde birkaç kişisel araştırma dışında herhangi bir ciddi çalışma yapılmamıştır. Kazaların azaltılmasına yönelik çalışmalar ise ancak son yıllarda bilimsel temellere dayanılarak yapılmaya başlanılmıştır. Kavşak kapasitelerinin hesaplanmasında yetersiz istatistik incelemeler ve başka ülkelerin trafik karakteristiklerine uygun olarak o ülkelerde hazırlanmış bazı kapasite analiz metotları kullanılmıştır. Bu metotların ülkemiz koşullarında ne derece geçerli olduğu araştırılmamış ve dolayısıyla bulunan değerler için bir düzeltme katsayısı arayışı içine de girilmemiştir.

Ülkemizde, trafik sıkışıklıklarının ve trafik kazalarının tek çözümü olarak ışıklı sinyalizasyon sistemleri görülmüş ve yapılmış olan çok az sayıdaki çalışma da bu tip kavşaklara yönlendirilmiştir. Günlük yaşantımızda büyük yer tutan ve ulaşım

ağlarının içerisinde küçümsenemeyecek bir yere sahip bulunan kontrolsüz kavşaklar üzerinde ise birkaç istisna dışında herhangi bir ciddi çalışma görülmemektedir.

İlk örnekleri İngiltere’de görülmeye başlanan Yeni Tip Dönel Kavşaklar*, özellikle 80’li yılların başından itibaren Avrupa’nın çeşitli ülkeleriyle Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi dünyanın önde gelen ülkelerinde de sık kullanılan bir çözüm olarak kendini göstermeye başlamış, bu tip kavşakların oranı, 1990’ların başında Fransa’ da yılda 1000, İsviçre’ de 2000’ e, Avrupa’ nın ülkelerinden biri olan 380000 nüfuslu Lüksemburg’ da ise 50 civarına ulaşmıştır. Bunun en önemli sebebi olarak, kavşaklarda meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kazaların sayısında, bu tip kavşaklarda büyük azalma görülmesi ve yüksek kapasiteye sahip olmaları gösterilebilir. Yeni Tip (Modern) Dönel Kavşaklar, Modern dönel kavşaklar, yüksek kapasiteye göre projelendirilmeleri, kısa gecikmeler oluşturması ve güvenliği sağlaması nedeniyle sinyalli ve dur kontrollü kavşaklara alternatif olmuştur (Troutbeck, 1993).

Öncelikli dizayn amacı, araçların kavşağa yaklaşmada hızlarını azaltmalarıdır. Ada çapları, büyük araçların uzunluklarına göre ayarlanır. Işıklı sinyal sistemleri genelde yoktur ve yaya geçişleri, orta refüj adalarının olduğu çizgili yürüyüş yollarından sağlanır.

Bu çalışmada, özellikle kapasite ve gecikme açısından inceleme yapılarak İzmir'deki dönel kavşak uygulama olanakları araştırılmıştır. Çalışmanın amaçları özetle:

1. Dünyadaki dönel kavşak uygulamalarının tanıtılması;
2. Uygulanan dönel kavşak kapasite ve gecikme analiz yöntemlerinin ayrıntılı olarak incelenmesi;
3. Uygun bir kapasite analiz yönteminin seçimi veya yeni bir yöntemin geliştirilmesi;

4. Kapasite analiz yöntemlerinin karşılaştırılması ve İzmir'deki mevcut dönel kavşaklar için en uygun yöntemin belirlenmeye çalışılması olarak sıralanabilir.

* Bu tip kavşaklar, Public Roads' un "Roundabouts" adlı makalesinde (Oustron ve Bared, 1995) ve ARRB Transport Reseach Ltd.' nin ARR321 No'lu raporunda modern dönel kavşaklar olarak adlandırılmaktadırlar. Ülkemizde rotary veya yuvarlak ada kavşak olarak da adlandırılan dönel kavşaklarda yapılan yeni düzenlemeleri belirtmek amacıyla "Yeni Tip Dönel Kavşak" terimi kullanılmıştır.

BÖLÜM İKİ

EŞDÜZEY KAVŞAKLAR

Farklı yönlerden gelen trafik akımlarının ortak olarak kullanmak zorunda oldukları alanlara kavşak denir. İstatistiklere göre hemen her ülkede, kentiçi ve kırsal yollarda trafik kazalarının %40~%60'ı birden fazla yolun birleşmeleri ya da kesişmeleri ile oluşan eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Diğer yandan, özellikle kentiçi ulaşımında, gecikmelerin %70'inden fazlasının yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya çıkmıştır (Yayla, 2000).

2.1 Eşdüzey Kavşak Tipleri

2.1.1 Kavşakların Düzenlenmesinde ve Planlanmasında Göz Önünde Tutulması Gerekli Haller

Kavşakların düzenlenmesinde dikkat edilmesi gereken bir takım hususlar vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a) Farklı yönlerden gelen taşıtların çarpışmalarının olabildiğince önlenmesi ve şiddetinin azaltılması;
- b) Kavşağı kullanacak farklı yönlü trafiğin birbirini en az engelleyecek şekilde yönlendirilerek gecikmelerin en aza indirilmesi;
- c) Yavaşlama ve hızlanmadan dolayı oluşan zaman, yakıt kaybının en aza indirilmesi;
- d) Farklı yönlerden gelen trafik akımlarına ve yayalara güvenli bir kullanma imkanının sağlanması.

Yukarıda belirtilen faktörler, karşılıklı olarak birbirlerini sınırlandırır. Yeterli bir kavşak projelendirilmesinde, bu farklar arasında en iyi çözümün seçilmesi gerekmektedir. Yukarıdaki dört ilke incelendiğinde kavşakların çevre koşullarına en fazla uyumu gösterecek, kaza ihtimali, tesis-bakım masrafları minimum olacak ve maksimum kapasiteyi sağlayacak şekilde projelendirilmeleri gerektiği görülmektedir.

Belirtilen bu esaslar ışığında, kavşak planlamasına başlanırken dikkate alınması gereken ana etkenler şunlardır:

- a) Kavşağın yol ağı içindeki önemi,
- b) Mevcut trafik özellikleri,
- c) Kavşağı oluşturan yolların geometrik özellikleri,
- d) Yakın kavşaklarda uygulanan veya uygulanacak trafik denetim şekilleri,
- e) Sürücü ve yaya davranışları,
- f) Topoğrafik durum ve çevre koşulları (Yayla, 2000).

Çözümlenecek her kavşak için bilinmesi gereken trafik özellikleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- i. Kavşağa gelen trafik miktarı (YOGT)
- ii. Trafiğin gün, hafta ve yıl içindeki değişim şekli,
- iii. Trafiğin kompozisyonu,
- iv. Anayoldaki proje hızı,
- v. Kavşağa bağlanan her koldaki sağa ve/veya sola dönen ve doğru geçen araç yüzdeleri,
- vi. Kavşak yakınında bulunan terminal, otopark v.b. yerlerin konumları,

- vii. Kentiçi toplu taşımacılıkta kullanılan araçlardan kavşağı kullananların sayıları ve duraklarının kavşağa göre konumu,
- viii. Kavşaktaki yaya akımı,
- ix. Daha önce meydana gelmiş olan kazaların sayısı, şekli v.b. bilgiler (Yayla, 2000).

Kavşakların düzenlenmesinde dikkat edilmesi gereken diğer önemli hususlar, aşağıda sıralanmıştır:

- Sürücüyü şaşırtacak karışık düzenlemelere gidilmemelidir.
- Trafik akımlarının kesişme açıları mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.
- Kavşaktan geçen ana akım, akım yönünden en az sapan akım olmalıdır.
- Kesişme noktalarında sollama ve geçme hareketlerini zorlaştıracak fiziki çözümler aranmalıdır.
- Kavşaktan geçiş hızları, gerekiyorsa, fiziki yapı ile kontrol edilmelidir.
- Her yönden gelen taşıtların, bütün dönüş açıları incelenmelidir.
- Tüm olarak alternatif çözümler değerlendirilmelidir.
- Kapasite ve özellikle güvenlik açısından kavşaklarda, işaretleme ve aydınlatmaya özel önem verilmelidir (Yayla, 2000).

2.1.2 Kavşak Tipleri

Kavşaklar genel olarak iki ana grup altında toplanabilir:

1. Hemzemin (eşdüzey) kavşaklar.
2. Farklı düzeyli (köprülü) kavşaklar.

Bu çalışmada sadece eşdüzey kavşaklar üzerinde durulmuştur.

Eşdüzey kavşaklar, kavşağı oluşturan yolların sayısı ile bu yolların birleşme şekillerine, diğer bir deyişle geometrik durumlarına, ayrıca kavşaklardaki denetim tarzına göre çeşitli tiplere ayrılır (Yayla, 2000). Çeşitli eşdüzey kavşak tipleri Şekil 2.1'de görülmektedir (Dönel kavşaklar, ayrıca inceleneceği için şekilde gösterilmemiştir).

Eşdüzey kavşaklar denetim şekillerine bağlı olarak üç ana gruba ayrılabilirler:

1. Denetimli eşdüzey kavşaklar.
2. Denetimsiz eşdüzey kavşaklar.
3. Dönel kavşaklar.

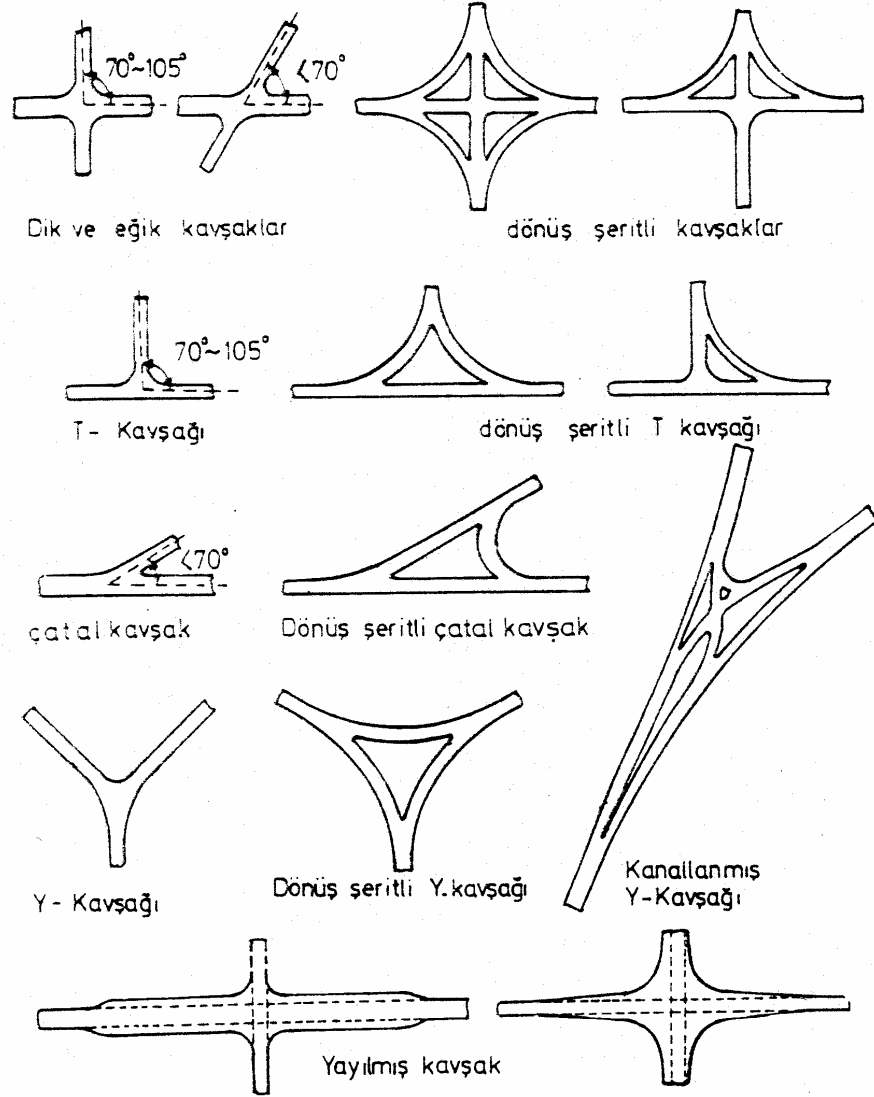
Denetimli Eşdüzey Kavşaklar: Denetimli eşdüzey kavşaklarda taşıt hareketleri polis veya ışıklı işaret tesisleri aracılığıyla yönetilmektedir. Denetim çeşitleri üç başlık altında toplanabilir:

a) *El ile kumanda:* Bir yetkili veya trafik polisi tarafından idare edilen denetim yöntemidir.

b) *Otomatik ışıkla kumanda:* Kavşağa yaklaşma yönünde belli bir uzaklığa yerleştirilen, trafik sayımlarında kullanılan sayaçlara benzer dedektörlerle kumanda sağlanır. Taşıt kavşağa gelirken, tekerleğin dedektöre yapacağı basınç ya da çökme etkisi bir kondansatörü şarj eder ve araç, taşıtın hızına göre kavşağı geçme süresince o yöndeki yeşil ışığı açık tutar. Bununla beraber, diğer yönlerdeki taşıtların gereğinden fazla beklememeleri için yeşil ışık süresi sınırlıdır.

c) *Zamana bağlı ışıkla kumanda:* Denetimli kavşaklarda en sık kullanılan denetim şekli olup, yeşil, sarı ve kırmızı sürelerin kavşağı kullanan taşıt hacmi değerlerine bağlı olarak ayarlanmasıyla gerçekleştirilir (Kutlu, 1991).

Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklar: Denetimsiz kavşaklardaki taşıt hareketleri, burada bulunan trafik levhalarıyla düzenlenmiştir. Yollardan biri taşıdığı trafik miktarı veya geometrik standartları sebebiyle anayol durumundadır ve bu yolda seyreden taşıtlar, diğer yol veya yollarda seyredenlere göre kavşaklarda ilk geçiş hakkına sahiptirler. Trafik güvenliği yönünden yan yol (tali yol) durumunda bulunan yolların ağzına "DUR", "YOL VER" anlamında trafik işaretleri konur (Yayla, 2000).



Şekil 2.1 Eşdüzey Kavşak Tipleri (Yayla, 2000)

Dönel Kavşaklar: Bu tip kavşaklar, daha önce de belirtildiği gibi çalışmanın ana konusunu teşkil ettiklerinden, ileri konularda çok detaylı olarak inceleneceklerdir.

2.2 Dönel Kavşaklar

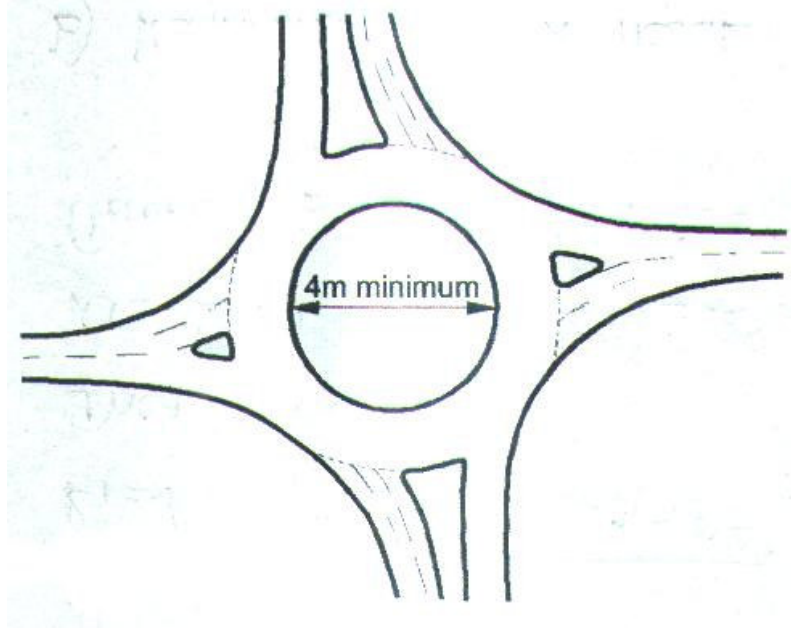
2.2.1. Dönel Kavşak Tanımı ve Yeni Tip Dönel Kavşakların Özellikleri

Tanım olarak dönel kavşak, merkezi bir trafik adası etrafında trafiğin saat yönünün tersine (eğer trafik sağdan akıyorsa) veya saat yönünde (eğer trafik soldan akıyorsa) hareket ettiği, yönlendirilmiş kavşaklardır (Janssens, 1994). Bütün araçlar sağdan yaklaşan araçlara öncelik vermelidirler. Sola dönen akımlar ise dönen akıma yol vermelidir. Dönel kavşaklar merkezci bir ada etrafında dönen bir akıma sahip olduğu için bütün araçlar kavşağa dönüş hareketi yaparak girerler, ki bu; giriş yada çıkış olsun her zaman sağa doğrudur (Luttinen, 2004).

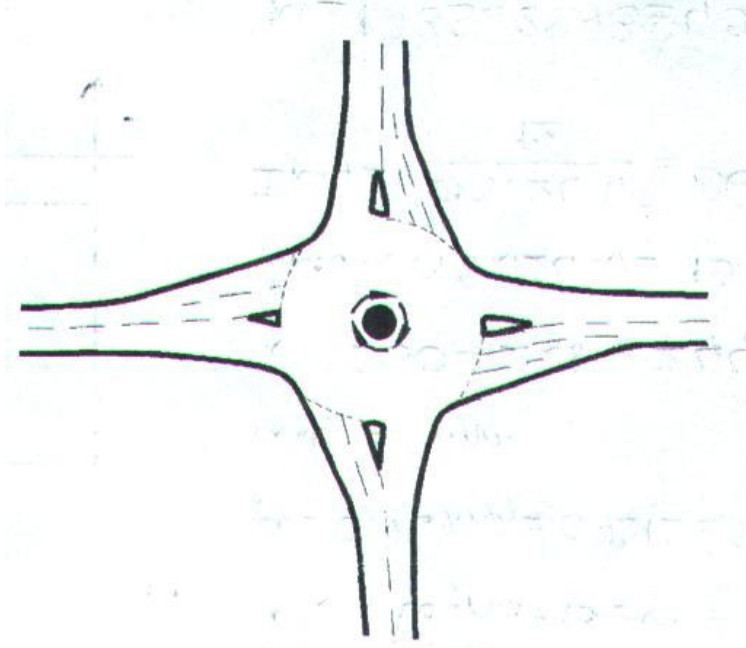
Dönel kavşakların Normal, Mini ve Çift Dönel Kavşak olmak üzere üç temel tipi vardır ve Farklı Düzeyli Dönel Kavşaklar, Halka Dönel Kavşaklar ve Sinyalize Dönel Kavşaklar gibi diğer tip dönel kavşaklar bu tiplerin varyasyonlarıyla oluşmuştur.

Normal dönel kavşaklar, tek dönüş şeridinde sahip, asgari 4 m çapa sahip ve çok çeşit araç girişine izin veren kavşaklardır. Şekil 2.2 'de görülmektedir.

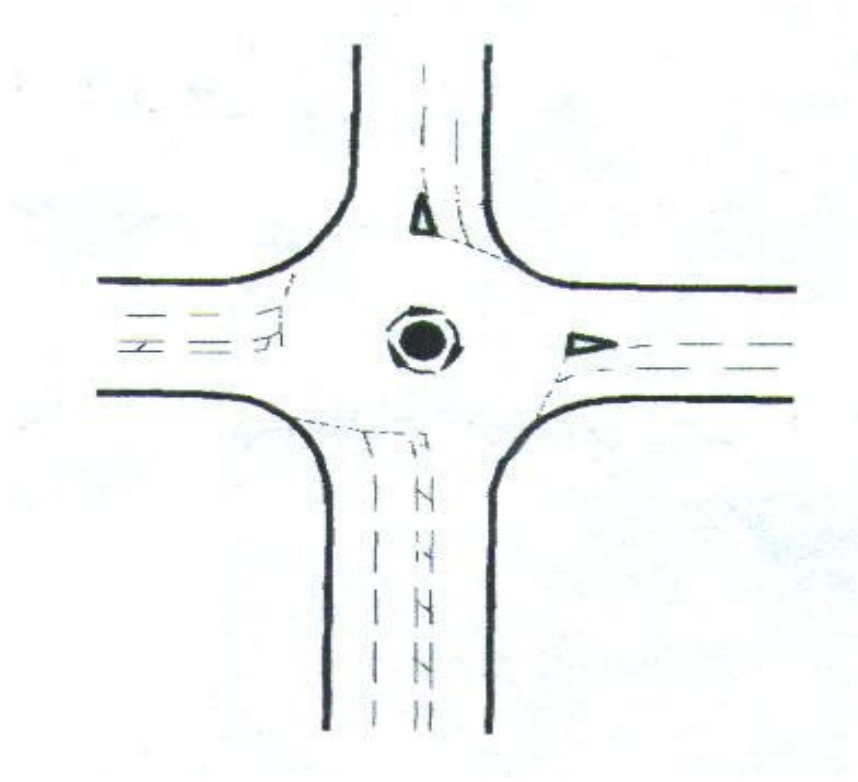
Mini dönel kavşaklar da tek dönüş şeridinde sahiptirler ancak çapları 4 m'den küçüktür. Kloş ve kloş olmayan yaklaşımlı olmak üzere 2 çeşidi vardır. Şekil 2.3.a ve Şekil 2.3.b' de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Normal Dönel Kavşak (DMRB, 1993)

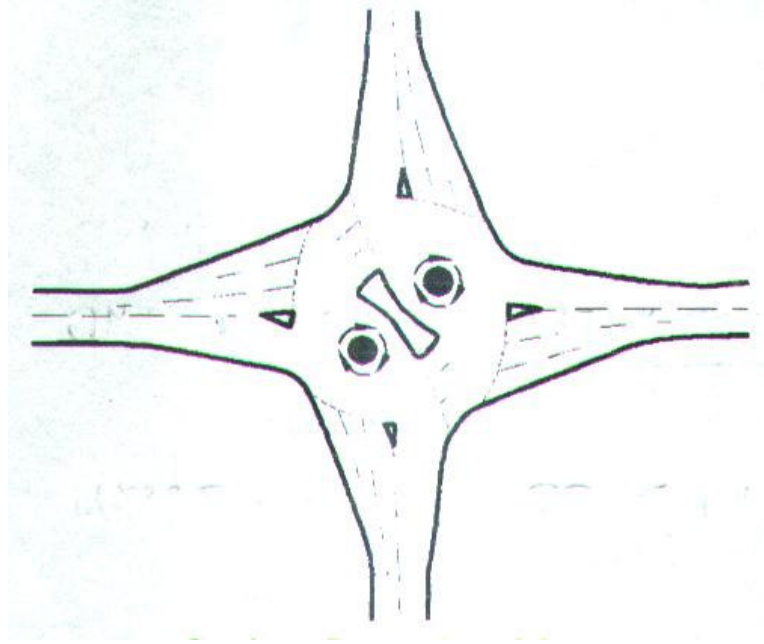


Şekil 2.3.a Kloş Yaklaşımlı Mini Dönel Kavşak (DMRB, 1993)

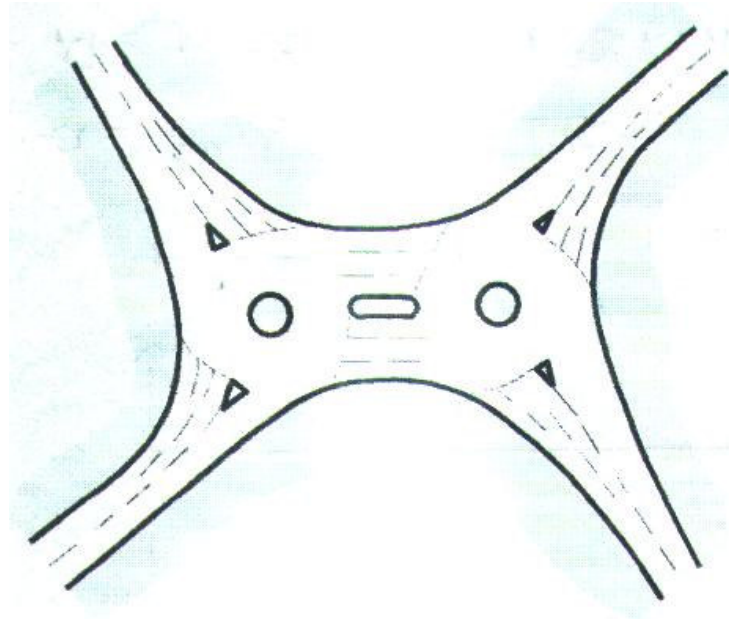


Şekil 2.3.b Kloş Yaklaşımlı Olmayan Mini Dönel Kavşak (DMRB, 1993)

Çift dönel kavşaklar ise iki tane normal yada mini dönel kavşağın bitişik olarak yada küçük bir hat yardımıyla uygulanmasıyla oluşmuştur. Şekil 2.4.a ve Şekil 2.4.b' de gösterilmektedir.



Şekil 2.4.a Bitişik Çift Dönel Kavşak (DMRB, 1993)



Şekil 2.4.b Küçük Hatlı Çift Dönel Kavşak (DMRB, 1993)

Denetimsiz eşdüzey kavşaklardaki durumları tanımlayan teoriye “ Araya Giriş Kabul Teoremi “ denir. Modeldeki ana varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Her sürücü benzer koşullarda benzer davranışları gösterir
- Tüm sürücüler benzer davranışlar gösterir
- Tali akımdaki araçlar, bütün öncelikli akımlar ve farklı öncelikli akımlar yanında benzer kritik aralık değerine sahiptirler
- Araya giriş aralık değeri, öne giriş aralık değerine benzerdir
- Birden fazla şeride ait aralıklar tek bir şerit haline dönüştürülebilir
- Ana akım içindeki zaman cinsinden aralıklar bir istatistiksel dağılıma uyarlar
- Tali yol araçları gelişigüzel ulaşırlar
- Ana akım içindeki sürücüler seyir özelliklerini yan yoldan giren araçlar için değiştirmezler
- Yan yol sürücüleri aynı koldan çıkan araçlarla, engelleyici olan ana akım araçlarını birbirlerinden ayırırlar

Teorem, dört ana elementi içinde barındırır:

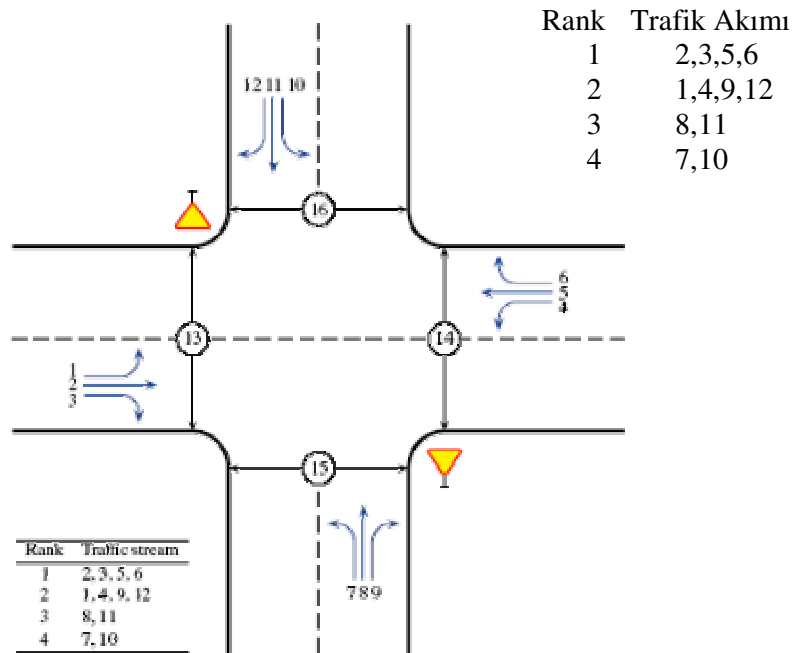
1. Trafik akımlarının üstünlük dereceleri
2. Yüksek öncelikli akımların araya girişlerinin dağılımları
3. Aralıkların, yol veren araçların giriş yapabilmesine elverişli olması
4. Kuyruk boşalması

Şekil 2.5' de 4 kollu bir kavşağın, Şekil 2.6' da T- kavşağın geçişlerdeki şerit üstünlükleri gösterilmiştir.

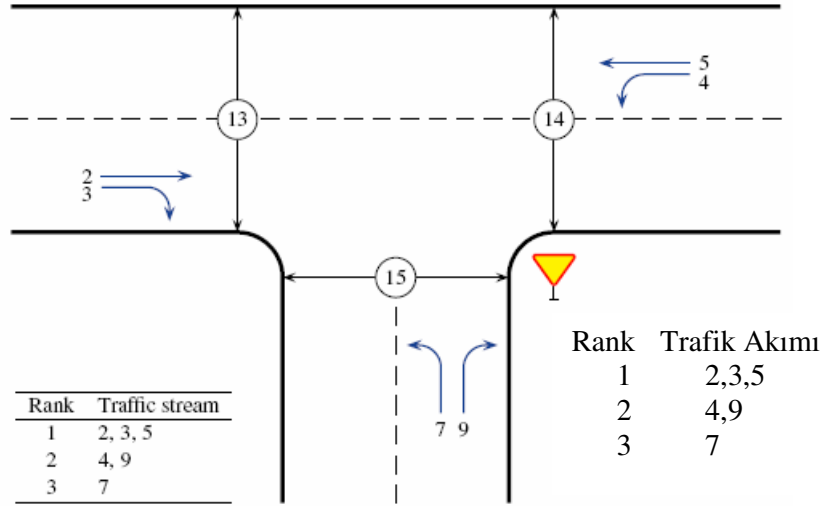
Rank olarak ifade edilen değerler, şeritlerin üstünlük derecelerini "1 = en yüksek" olmak üzere belirtir. Şekillerde gösterilen hiyerarşiye göre ana akımdaki direkt geçen

araçlar her zaman en yüksek önceliğe sahiptirler. Ama yine de aşağıdaki 3 sebebe bağlı olmak üzere gecikmeler görülebilir:

1. Ana akımdaki direkt hareket edecek olan araçlar, kuyruk oluşturmuş olan sola dönüş yapacak araçlar nedeniyle geçiş yapamıyorsa kuyruğun dağılmasını beklerler.
2. Direkt geçiş yapacak bir araç, yavaşlayarak dönüş yapacak bir aracı takip ediyorsa yavaşlar.
3. Yüksek trafik hacimlerinde ana akım yan yoldan etkilenecek de gecikme yapabilir (Luttinen, 2004).



Şekil 2.5 Dört kollü kavşakta geçiş üstünlükleri (Luttinen,2004)



Şekil 2.6 T kavşakta geçiş üstünlükleri (Luttinen, 2004)

Günümüzde İngiltere, Avustralya gibi trafiğin soldan aktığı ülkelerde de yol güvenliği ve kapasite açısından yeni tip dönel kavşaklar tesis edilmektedir. Yeni tip dönel kavşakların sinyalize kavşaklara tercih edilme nedeni olarak:

- Zorunlu yavaşlama sebebiyle kazalarda sayısal olarak ve ayrıca şiddet olarak fark edilir azalma;
 - Kavşaklardan geçişte bekleminin azalması;
 - Yaya geçiş imkanlarının sağlanması;
 - Işıklı sinyal tesislerine ihtiyaç duyulmaması;
 - Yapım, bakım ve kontrol masraflarının büyük oranda azalması;
 - Yüksek araç kapasitesi ile yüksek sayıda bisiklet ve motosikletin de geçmesine olanak tanınması;
- gösterilebilir (Oustron ve Bared, 1995).

Günümüzde özellikle Avrupa ülkeleri ve Avustralya başta olmak üzere, yeni hemzemin kavşakların dönel kavşak olarak inşası veya mevcut kavşakların dönel kavşak olarak tesis edilmesi yoluna gidilmektedir. Bunun sebepleri olarak: önemli kazalarda fark edilir azalma; kavşaklardan geçişte düşük hızların görülmesi; yüksek yaya geçiş imkanlarının sağlanması; ışıklı sinyal tesislerine ihtiyaç duyulmaması; bakım ve kontrol masraflarının büyük oranlarda azalması ve yüksek araç kapasitesi ile yüksek sayıda bisiklet ve motosikletin de geçmesine olanak tanınması gösterilmektedir (Oustron ve Bared, 1995).

Hollanda’ da 1980’li yıllardan itibaren dönel kavşakların sayısında büyük bir artış görülmüştür. Sadece altı yıl içerisinde, yaklaşık 400 dönel kavşak inşa edilmiştir (Oustron ve Bared, 1995).

Norveç, her dönel kavşak girişine “dur” işaretlerinin yerleştirilmesine 1985 yılında başlamıştır. 1980 yılında Norveç’te yalnızca 15 dönel kavşak bulunmaktayken bu sayı 1990’da 350’ye ve 1992’de 500’e yükseltilmiştir (Oustron ve Bared, 1995).

İsviçre’de ise, dönel kavşak sayısı, 1980’de 19 iken 1992 başlarında 220’ye yükseltilmiş bulunmaktadır. Aynı yıl içerisinde 500 yeni dönel kavşak projesi üzerinde çalışılmaya başlanmıştır (Oustron ve Bared, 1995).

1987 yılında, özellikle Fransa’nın batı bölgelerinde ve Britanya’ da 500 yeni dönel kavşak inşa edilmiştir. Dönel kavşak inşaatı ve sinyalize kavşakların dönel kavşak olarak yeniden tesisi bu tarihten itibaren o denli artmış bulunmaktadır ki, 1991 yılında, yılda 1000 dönel kavşak inşası derecesine ulaşılmıştır (Oustron ve Bared, 1995).

İngiltere'de, 1960'lı yıllardan itibaren, özellikle büyük şehirlerin yoğun trafiğe sahip olan kavşaklarında sıkışıklıklar ve gecikmeler büyük boyutlara ulaştıncaya, dönen araçların geçiş üstünlüğü tartışılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalarda, "dönen araca yol ver" kuralının uygulanmasıyla, yüksek yoğunluklu kavşaklarda kavşak kapasitesinin en az %10 arttığı, araç başına düşen ortalama gecikmenin 30 saniye veya %40 oranında azaldığı görülmüştür (Blackmoore, 1963). Ayrıca 1968 yılında hazırlanan örnek kavşaklar üzerinde incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerde, kavşak geometrisi, kavşak tipi (sinyalize, dönel v.b.) ve kullanılan öncelik (dönen veya giren araca öncelik verilmesi gibi) unsurlar incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, dönel kavşakta bulunan ada yarıçapının minimum 6m olması gerektiği görülmüştür. Bu, o güne kadar kabul gören "ada yarıçapının büyük olması durumunda kapasite artar" görüşünün aslında doğru olmadığını ortaya koymuştur. Çalışmada ayrıca, dönen araçların geçiş önceliğine sahip olması durumunda kavşak kapasitesinin yüksek olduğu, ancak giren araçlara geçiş önceliği verilmesi halinde, birkaç dakika içerisinde kavşağın tıkanıp gözlemlenmiştir (Webster ve Blackmore, 1968).

İngiltere' de ayrıca, sinyalize kavşaklar ile dönel kavşaklar arasında bir karşılaştırma yapılmaya çalışılmış; böylece hangi kavşak tipinin tercih edilebileceği belirlenmek istenmiştir. Çalışmalar sonucunda, dönel kavşakların kazaların azalmasında önemli bir etken olduğu ancak, her iki kavşak tipinin de kendilerine özgü bir takım üstünlüklerinin bulunması sebebiyle tercihin kavşağın bulunduğu bölge ve üzerinden geçen trafiğin özelliklerine göre belirlenebileceği sonucuna varılmıştır (Webster ve Newby, 1964) (Webster ve Blackmore, 1968) (Millard, 1971) (Janssens, 1994).

Burada özellikle belirtilmesi gereken önemli bir nokta, trafik hacminin kontrol edilemeyecek şekilde artmasıdır. Portekiz' in Lizbon şehrinde eski tip büyük dönel kavşaklarda, trafik hacminin hızlı artması sonucunda yetkilileri sinyalizasyon tesisine itecek yönde trafik sıkışıklıkları görülmüştür (Oustron ve Bared, 1995). Bu tip kavşakların, üzerlerinde taşıdıkları yüksek kapasiteler sebebiyle yeni tip ve daha

düşük yarıçaplara sahip dönel kavşaklara dönüştürülmesi de oldukça güç olmaktadır. Portekiz'in daha küçük şehirlerinde ve kasabalarında ise yeni tip dönel kavşakların oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

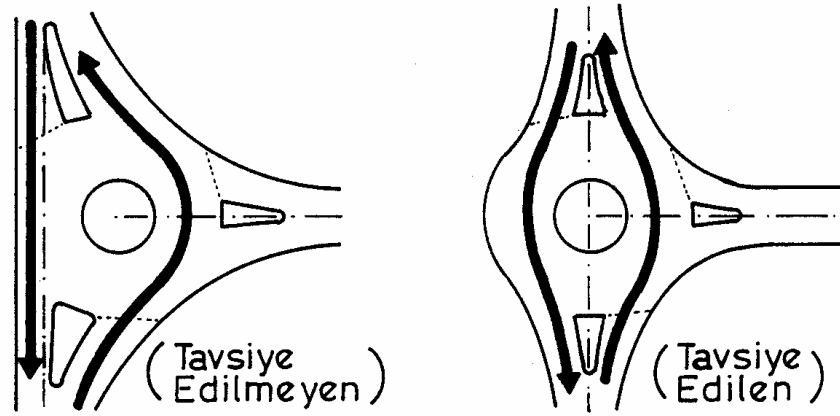
Türkiye'de dönel kavşaklar, Avrupa'daki kadar olmamakla birlikte sık kullanılan hemzemin kavşak tiplerinden birisidir. Çalışmanın yapıldığı şehir olan İzmir' de yapılan incelemelerde, şehir özelinde ve genel olarak dönel kavşak uygulamaları hakkında aşağıdaki hususlar elde edilmiştir:

1. İzmir'de yeni tip dönel kavşak olarak adlandırılacak kavşaklar bulunmamaktadır.
2. İzmir'in en dikkati çeken dönel kavşağı olan Basmane Kavşağı, çok büyük ada yarıçapı ile eski tip dönel kavşakların çarpıcı bir örneğidir.
3. İzmir' de dönel kavşak olarak adlandırılan fakat özellikleri açısından dönel kavşak olarak kullanılmayacak birçok kavşak bulunmaktadır. Yapılan incelemelerde, sola dönüşler için çapa ve şekle dikkat edilmeden inşa edilmiş olan kavşaklar bile dönel kavşak olarak adlandırılmaktadırlar. Yuvarlak adaların büyük çoğunluğu düzensiz (elips, dörtgen veya geometrik olarak adlandırılmayacak şekillerde) inşa edilmiştir.
4. Dönel kavşak olarak inşa edilmiş olan hemzemin kavşaklar, dönel kavşakların en önemli özelliklerinden biri olan, kavşağı kullanan araçların yönlerinin saptırılması ve hızlarının düşürülmesi görevini yerine getirememektedir. Bunun en önemli sebebi, özellikle ana arter üzerinde yol güzergahının yuvarlak ada etrafında yönünün saptırılmaması; yuvarlak adaya teğet olmasıdır (Şekil 2.7).
5. Türkiye' de trafik yönetmeliğinde bulunan ve dönel kavşaklarda uyulması gereken “dönel kavşaklarda geçiş üstünlüğü dönen araca aittir.” kuralına uyulmamaktadır. Bu kurala uyulmasını mecbur kılacak geometrik çözümler araştırılmamaktadır.

6. Eski tip dönel kavşak uygulaması olan büyük yarıçaplı yuvarlak ada inşaatları özellikle önemli güzergahların kesiştiği noktalarda ve şehir merkezlerine girişlerde sıkça kullanılmaktadır. (Basmame, Üçyol, Üçkuyular Meydanı kavşakları gibi) Bu tip kavşaklarda da teğet geçişlerle karşılaşmakta ve kavşak işlevini gerçekleştirememektedir.

7. Bütün dönel kavşaklarda sinyalizasyon sistemleri oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bunun sebebi olarak, dönel kavşakların yukarıdaki maddelerde açıklanmaya çalışıldığı şekilde, yanlış inşa edilmesi veya eski tip büyük yarıçaplı yuvarlak adaların oluşturulmasıdır. Buna örnek olarak, 1970'li yıllarda düzenlenen dönel kavşakların daha sonra ışıklı sistemle takviye edilmeleri gösterilebilir. Az sayıda olmak üzere benzer örnekler İstanbul'da da vardır.

Yukarıdan da anlaşılacağı üzere, Türkiye'de yeni tip dönel kavşak uygulamaları görülmemekte veya azınlıkta kalmaktadır.



Şekil 2.7 Dönel Kavşaklarda Teğet Geçiş ve Yapılması Gereken Uygulama (Seim, 1991)

Kavşaklardaki trafik sıkışmaları ve uyuşmazlıkları bir ya da daha fazla taşıtın birbirlerini geçme, atlatma hareketleri nedeniyle oluşur. Şerit disiplininin olmayışı, atan azalan ivme ve dönüş hareketleri, karmaşık trafik koşulları altında kontrolsüz kavşakların sık rastlanan özellikleridir. Uyuşmazlığın sayısı ve konumu, trafik

akımlarının kesişimlerine bağlıdır ve olası trafik kazalarının göstergesidir (Rao ve Rangaraju, 1994).

Hollanda' da 181 adet dönel kavşakta yapılan öncesi ve sonrası çalışmalarında kavşakların, toplam kaza oranını % 51, yaralanmalı kaza oranını % 72, yaya yaralanmalarını % 89 ve bisiklet yaralanmalarını da % 30 oranında azalttığı görülmüştür.

Avustralya, Victoria' da 73 dönel kavşakta yapılan çalışmalarda ise toplam yaralanmaların % 74, yaya kazalarının da % 68 azaldığı görülmüştür (Troutbeck, 1993).

Almanya' da 7 dönel kavşakta yapılan çalışmada ise ortalama kaza maliyetlerinde % 85 azalma olduğu görülmüştür.

Güvenliğin sağlanması; kavşaklarda hız azaltılması ve sürücü ile yayalar açısından karışıklık noktalarının giderilmesinin sonucudur.

Giriş yapacak araçların yavaşlaması ve aralık bulması, dönel kavşağı daha akışkan ve çevreyle dost kılar. Bekleme periyotlarının kısalması, hava kirliliğini, yakıt sarfiyatını ve gürültüyü azaltır. Ortalama gecikmeler, tipik sinyalizasyonlu kavşaklara göre % 50 az oranda gerçekleşir.

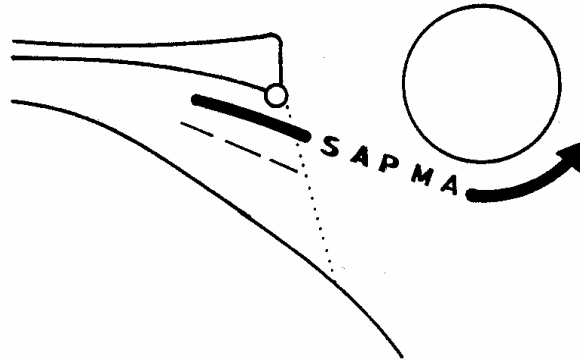
Modern dönel kavşaklar; 15-30 m. dış çaplı mini dönel kavşak, dış çapı 30-43 m. tek şeritli dönel kavşak ve dış çapı 37-91 m. çok şeritli dönel kavşak olarak inşa edilebilirler. Mini dönel kavşak trafik sakinliğini sağlamak, diğerleri ise yüksek kapasite ve güvenliği sağlamak amacıyla kurulurlar.

Sinyalizasyon olmaması nedeniyle dönel kavşakların uygulanması ve bakımı daha kolay ve daha ucuzdur. Sinyal bakımına ya da mekanik arıza tamirine ihtiyaç yoktur.

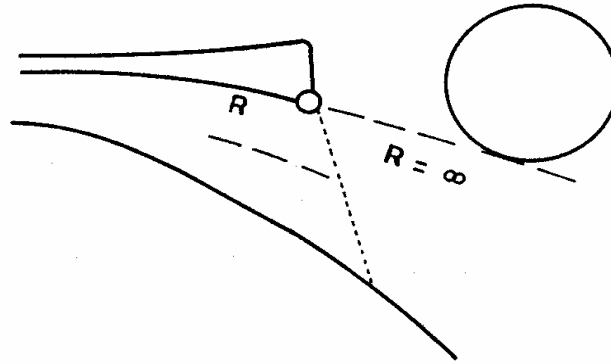
Sinyalli kavşaklarda sürücü, yeşil ışığı gördüğü anda gitmek yani hızını arttırmak durumundadır. Bir nevi hiç düşünmeden otomatik pilotluk görevi yapar. Dönel kavşaklarda ise, sürücü yavaşlamak, dikkat göstermek ve karar vermek zorundadır. Avrupa’ da ve Amerika’ nın birkaç bölgesinde edinilen tecrübeler, bu sürücülerin daha güvenli olduklarını gösterir.

Bu kavşakların en önemli özelliklerinden biri, kavşağa girişte araçların yavaşlamaya veya durmaya mecbur edilmeleri ve kavşağa ana akım içinde buldukları bir aralıkta girmeleridir ki; bu “girişte-yol verme” olarak adlandırılmıştır. Yeni tip dönel kavşağı diğer kavşaklardan ayıran en önemli hususlardan biri de, araç güzergahının saptırılması (Şekil 2.8), dur işaretlerinin etkin olarak kullanımının sağlanmaya çalışılması ve kavşağa giriş kısımlarında şerit sayısının artırılmasıdır (Şekil 2.9). Yeni tip kavşakların diğer özelliklerinden bazıları; her yönde ayırıcı trafik adalarının kullanılabilmesi; iyi görüş mesafesi; iyi işaretleme; dönel kavşak içerisinde yaya yollarının bulunmayışı; yaya geçitlerinin bulunduğu yaklaşımlarda “dur” işaretlerinin bulunması; dönel kavşak içerisinde park yapılmasının yasak olmasıdır.

Dönel kavşakların ada yarıçapları minimum 5 m olarak alınmaktadır. Kavşak kapasitesi hesaplarında ise genellikle dönel kavşağın, ada ve dönüş şeritlerini de içeren çap değerleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.8 Dönel Kavşak Girişinde, Araç Yönünün Saptırılması



Şekil 2.9 Dönel Kavşak Girişinde Şerit Sayısının ve Genişliğin Arttırılması

(Oustron ve Bared, 1995)

2.2.2 Yeni Tip Dönel Kavşakların Uygulanmasını Gerektiren Koşullar

Yeni tip dönel kavşak uygulamaları aşağıdaki koşullarda uygun sonuçlar vermektedir:

- Dur veya geç veya T kavşakların ikincil yol trafiği bakımından kabul edilemez gecikmeler oluşturduğu kavşaklarda; (bu gibi durumlarda dönel kavşaklar ikincil yoldaki gecikmeleri düşürür fakat ana akımdaki gecikmeleri artırır)
- Trafik sinyallerinin dönel kavşaklardan daha büyük gecikmeler oluşturduğu kavşaklarda;
- Kazaların, özellikle kesişen ve dönen araçların karıştığı kazaların, araç sayısına oranla fazla görüldüğü kesimlerde;
- Dönel kavşakların, güvenliği ve yörenin trafik yönetimini geliştirebileceğini düşünülen lokal yollarda;

- Kırsal bölge dışında kalan hızların yüksek ve sola dönüş akımının daha fazla olduğu ana arterlerin kesişimlerinde;
- Dönüşler ve düz geçişler dik açıyla kesişiyorsa;
- Ana akımların Y veya T şeklinde kesiştiği, genellikle sola dönen akımların yüksek oranlarda olduğu kesişimlerde;
- Trafik gelişiminin çok olacağı ve gelecekteki trafiğin değişebilir olarak tahmin edildiği yerlerde;
- Tüm bağlantı yollarının eşit önceliğe sahip olduğu yerlerde (Taekratok, 1998);
- İş merkezi olmayan yerleşim bölgelerinde;
- Kavşağa dörtten fazla kolun bağlanması durumunda (Bu tip kavşaklarda sinyalizasyon sistemlerinin hazırlanması çeşitli zorluklar doğurmaktadır);
- Zonlar arası geçiş noktalarının düzenlenmesinde;
- Anayollardaki hızların düşürülmesinde;
- Kazalar açısından “kara nokta“ olarak belirlenmiş bölgelerde;
- Günlük veya mevsimlik trafik değişikliklerinin sık görüldüğü kavşaklarda;
- Sola veya sağa dönüş hacimlerinin yüksek olduğu kesimlerde (özellikle çevre yolu bağlantılarında daha etkin rol oynamaktadır);
- Anayol üzerinde araç hacminin saatte 5000 aracı geçtiği kavşaklarda*;
- Çevre düzenlemelerinde (Oustron ve Bared, 1995) (Stuwe, 1991).

Bu olumlu yanlarına karşın dönel kavşakların aşağıda belirtilen durumlarda uygulamaları uygun olmayabilir:

- Arazinin sınırlı, topografyasının imkan tanımadığı veya (istimlak bedeli de dahil olabilir) yapımının maliyetli olduğu yerlerde;
- Trafik akımlarının bir yada daha fazla yaklaşımda dengesiz yüksek hacimler gösterdiği ve bazı araçların uzun gecikmeler gösterdiği yerlerde;
- Ana akımla yan yol akımının kesiştiği, ana akım trafiğinde kabul edilemez gecikmelerin olduğu yerlerde;
- Pik saatlerde karşı yönde bir şeridin alınması durumunda;
- Geniş kombinasyonlu ve büyük boyutlu araçların kullandığı kavşaklarda
- Dönel kavşağı terk eden akımın aşağı yönde giden trafik tarafından bölüdüğü (engellendiği) yerlerde (Taeratok, 1998) ;
- Yüksek eğimlerde;
- İki şeritli girişlerde fazla sayıda yaya trafiği olduğu bölgelerde (yayaların güvenliği açısından dönel kavşaklar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. İzmir’ de özellikle Montrö ve Lozan meydanlarında yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır.);
- Ana yolla tali yol arasında trafik yoğunluğu açısından büyük bir dengesizlik varsa (özellikle doğru geçiş yapan araç sayısı çok fazla ise, tali yollardan gelen araçlar yeterli aralık bulamadıkları için bu kavşaklarda bir yönün sinyalizasyon edilmesi yoluna gidilmesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır);
- Yeşil dalga ile projelendirilmiş hatlar üzerinde;
- Yüksek sayıda ağır araç ve toplu taşıma araçlarının bulunduğu kesimlerde;
- Dönel kavşağa yakın sinyalizasyon kavşak bulunması durumunda;
- Dönel kavşak içerisinde park etmeye yönelen alışveriş merkezleri veya dükkanlar bulunması durumunda (Bu durumla İzmir’ de Lozan ve Montrö Meydanlarında karşılaşmaktadır. Bu durum ayrıca incelenmelidir.

Özellikle dönel kavşakların büyük yerleşim bölgelerinde hangi kriterlere uyularak dizayn edileceği veya bu bölgelerde dönel kavşakların uygun olup olmadığı konularında büyük önem taşımaktadır.) (Oustron ve Bared, 1995) (Stuwe, 1991) (Seim, 1991)

* ARRB' nin Rahmi Akçelik tarafından hazırlanan ve 20 Mart 1998 tarihinde yayınlanan ARR321 no'lu raporunda dönel kavşak kapasiteleri aşağıdaki şekilde verilmiştir:

Tek şeritli D.K.:2620 araç/saat (her yaklaşım kolunda 655 araç/saat)

İki şeritli D.K.: 4400 araç/saat (her yaklaşım kolunda 1100 araç/saat veya her şeritte ortalama 550 araç/saat)

Üç şeritli D.K.: 5950 araç/saat (her yaklaşım kolunda 1490 araç/saat veya her şeritte ortalama 495 araç) (Akçelik, 1998)

2.2.3 Trafik Kazaları ve Dönel Kavşaklar

Ülkemizde olduğu gibi dünyada da trafik kazalarının azaltılmasına çalışılmaktadır. Bu yönde atılmış olan en önemli adımlardan biri de dönel kavşak uygulamalarının çoğaltılması olmuştur. Burada amaç, yol geometrik elemanlarında yapılan iyileştirmelerle, sürücülerin hızlarının yavaşlatılması ve trafik kurallarına uymalarının sağlanmasıdır.

Avrupa'da dönel kavşaklara geçilmesinden itibaren, dönel kavşaklar, yol güvenliği açısından incelenmektedir. Bu incelemeler ışığında, aşağıdaki sonuçların elde edildiği görülmüştür:

- Norveç'te, mevcut sinyalize kavşakların dönel kavşağa dönüştürülmesi sonucunda, kavşak kaza oranlarının bir milyon araçta 3 kollu kavşaklarda 0,05 'ten 0,03' e; 4 kollu kavşaklarda 0,10' dan 0,05' e düştüğü saptanmıştır (Seim, 1991).
- İsviçre' de yapılan benzer bir çalışma sonucunda, kaza sayısının ayda 0,65' ten 0,45' e ve yaralanma veya ölüm sayısının da ayda 0,13' ten 0,08' e düştüğü gözlenmiştir (Simon, 1991).
- Almanya' da yapılan çalışmalarda ise bir milyon araçtaki kaza sayısı eski tip dönel kavşaklarda 6,58; sinyalize kavşaklarda 3,35; yeni tip küçük dönel kavşaklarda ise 1,24 olduğu tespit edilmiştir.
- Fransa' da yapılan çalışmalar ise, sinyalize kavşaklardaki kaza oranı yılda kavşak başına 0,64 iken bu kavşaklar dönel kavşak olarak hizmet vermeye başladıkları tarihten itibaren, bu oranın 0,33' e düştüğü belirlenmiştir. Yaralanmalı ve/veya ölümlü kaza oranı ise yılda kavşak başına 0,14' ten 0,089' a düşmüştür (Alphand, v.d., 1991).

Yukarıdan da görüldüğü üzere, dönel kavşaklar, kaza istatistikleri açısından, sinyalizasyon kavşaklardan daha iyi sonuçlar vermektedir. Dönel kavşaklarda oluşan kazaların büyük bir kısmı girişlerde “dur” kuralına uyulmaması sebebiyle gerçekleşmektedir. Dönel kavşakların güvenilirliği, kavşağa giriş sırasında sürücülerin yavaşlamalarından kaynaklanmaktadır. Bu tip kavşaklarda özellikle yaralanma ve ölümlerle sonuçlanan kazaların sayısı, eskiye oranla çok daha düşük olmaktadır.

2.2.4 Dönel Kavşakların Geometrik Özellikleri

Dönel kavşak, trafik akımlarını bir araya getirir ve bu akımların güvenli bir şekilde birleşip tercih ettikleri yöne devam etmelerini sağlar. Dönel kavşakların geometrik özellikleri, sürücülerin kavşağa yaklaşımlarını, girişlerini ve kavşak içerisinde hareketlerini yönlendirir ve kavşak performansı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Sürücüler dönel kavşağa yaklaşırken, kavşakta diğer sürücülerle beraber güvenli bir şekilde hareket edebilmek için hızlarını düşürmek zorundadırlar. Yaklaşım şeridinin genişliği, eğimi, trafik hacmi bu hızı etkiler. Sürücüler kavşağa yaklaşırken halihazırda dönen akımı kontrol edip ne zaman güvenli bir şekilde dönen akıma gireceğini belirlemelidir. Dönüş şeridinin genişliği dönel kavşakta kaç sayıda aracın yan yana seyahat edebileceğini belirler.

Kavşağın iyi projelendirilmesi durumunda, sadece kapasite değil, kavşak güvenliğinde de bir artış görülecektir. Dönel kavşakların projelendirilmesinde dikkate alınacak ana elemanlar şu şekilde sıralanabilir:

- a) Proje tip aracı ve hızı
- b) Görüş uzunluğu
- c) Sapma derecesi (deflection)
- d) Orta ada çapı
- e) Dönüş şeridi genişliği

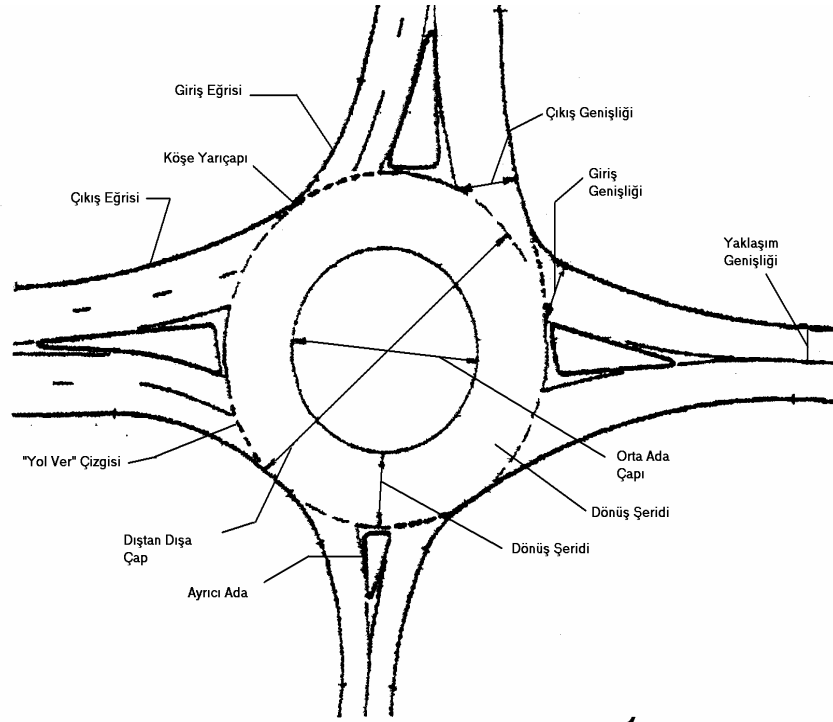
- f) Giriş ve çıkış şeritleri
- g) Ayırıcı ada
- h) Kaplama işaretleri, işaretleme ve aydınlatma
- i) Çevre düzenlemesi

Şekil 2.10' da, geometrik elemanlardan bazıları gösterilmektedir.

2.2.4.1 Proje Tip Aracı ve Hızı

Dönel kavşaklar, kavşağı kullanması muhtemel en büyük aracın kavşağa giriş, kavşaktan çıkış ve kavşak içinde dönüş manevralarını yapabilmesi için yeterli geometrik özelliklere sahip olmalıdır. Kamyon apronları gibi özel çözümlerle, itfaiye ve/veya ambulans gibi araçlar için özel uygulamaların yapılması öngörülebilir.

Dönel kavşakların tercih edilmelerinin en önemli sebeplerinden biri, kaza oranlarında ve özellikle ölümlü veya yaralanmalı kazalarda büyük düşüş görülmesidir. Bunun sağlanabilmesi ise ancak araçların, düşük hızlarla kavşağa girmeleri ve kavşak içinde düşük hızlarla hareket etmelerinin mecbur edilmesiyle mümkün olabilir (Taekratok, 1998).



Şekil 2.10 Dönel Kavşaklarda Dikkate Alınan Geometrik Elemanlar (Taekratok, 1998)

Yapılan çalışmalar, dönel kavşakların işletim hızlarının 40-50 km/sa olduğunu göstermiştir. Ancak özellikle kavşak girişlerinde, kavşağa giren araçların hızlarının 30 km/sa' e kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

2.2.4.2 Görüş Mesafesi

Yeterli görüş mesafesinin sağlanabilmesi için, aşağıdaki iki hususun dikkate alınması gerekmektedir:

- 1) Kavşak yaklaşımları, kavşağa gelen sürücülerin ayrıcı ada, orta ada ve dönüş şeritlerinin rahatça görebilmelerini sağlayacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.

2) Duruş çizgisinde bekleyen bir sürücü, kendinden bir önceki yaklaşımdan giriş yapan araçların girişlerini, en azından kritik aralık değeri kadar bir seyir süresi uzaklıktan rahatça görebilmelidir. 50 km/sa seyir hızı ve 70 m uzaklık, düşük dönüş akımına sahip kavşaklar için yeterli olmaktadır (Taekratok, 1998). Daha yoğun kavşaklarda, 4 saniyelik kritik aralık kabulüne göre yapılan projelendirmeler, yeterli olmaktadır.

2.2.4.3 Sapma Derecesi

Dönel kavşakların projelendirilmesinde dikkate alınması gereken en önemli hususlardan biri de, araçların yönlerinin girişlerde, çıkışlarda ve doğru geçişlerde saptırılmasıdır. Yeterli derecede yapılan saptırmalar, kavşak güvenliğinin artmasını da sağlamaktadır (Taekratok, 1998). Kavşak girişlerinde ve doğru geçişlerde yapılan saptırma, kavşak içinde istenen işletme hızlarının da elde edilmesinde büyük yarar sağlamaktadır.

2.2.4.4 Orta Ada Çapı

Orta ada, genelde üzerinden araçların geçemeyeceği, etrafında dönmeleri gereken kısımdır. Ancak özellikle küçük kavşaklarda, ağır araçların hareketlerini kolaylaştırmak amacıyla, orta ada etrafında kamyon apronu adı verilen, üzeri pürüzlü bir kısım teşkil edilebilir (Richter ve Hüsken, 1995).

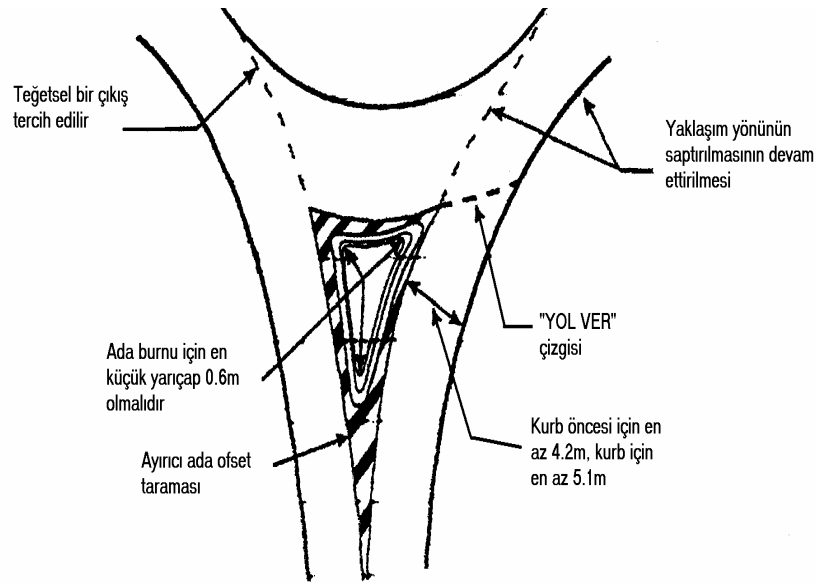
Orta adalar, mevcut alana bağlı olarak, etrafından dönülebilecek ve doğru geçiş yapan araçları saptırabilecek kadar büyük projelendirilmelidir.

2.2.4.5 Dönüş Şeridi Genişliği

Dönüş şeridi genişliği, düzgün bir hareket sağlanabilmesi için, giriş ve çıkış şeritlerinin genişliği ve sayısı ile, kavşağın genel durumuna bağlı olarak değişir (Taekratok, 1998). Genelde yapılan kabul, maksimum giriş genişliğinin "1" veya "1.2" katı olarak seçilmesidir. Çeşitli ülkelerde iki veya üç dönüş şeritli dönel kavşaklara rastlanılmasına rağmen, özellikle Almanya'da tek şeritli dönel kavşakların projelendirilmesi son yıllarda tercih edilmektedir (Richter ve Hüsken, 1995).

2.2.4.6 Giriş ve Çıkış Şeritleri

Giriş ve çıkış şeritlerinin projelendirilmesi, özellikle kavşak kapasitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Giriş şeritlerinin, araçların yanyoldan girerken yavaşlamalarını; çıkış şeritlerinin ise, araçların kavşağı en kısa sürede terk etmelerini sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Örnek bir yaklaşım planı, Şekil 2.11' de verilmektedir:



Şekil 2.11 Dönel Kavşak Yaklaşımı (Taekratok, 1998)

2.2.4.7 Ayırıcı Ada

Ayırıcı adaların, iyi bir kavşak görüşü, girişte hızı azaltıcı ve azalan ivme için güvenli bir alan sağlaması gerekir (Taekratok, 1998). Ayırıcı adaların işlevleri, şu şekilde sıralanabilir:

- Giriş akımını fiziksel olarak ayırmak, böylece yanlış yön hareketlerini engellemek;
- Giriş ve çıkışlarda yapılan sapmaların kontrol edilmesi;
- Yayalar için sığınma alanının sağlanması ve işaretlerin konulacağı bir yerin oluşturulması.

2.2.4.8 Kavşak İşaretlemeleri, Aydınlatma ve Çevre Düzenlemesi

Dönel kavşaklardaki işaretlemeler, ayrı bir çalışma konusu olarak ele alınabilir. Burada bazı önemli noktalara değinilmeye çalışılmıştır.

Dönel kavşaklarda görülen en belirgin özellik, yanyoldan kavşağa girmeye çalışan sürücülerin, dönüş akımındaki araçlara yol vermeleri, akım içinde buldukları uygun aralıklarda kavşağa girerek; dönüş hareketinde bulunan araçları engellememeleridir. Bu amaçla, kavşak girişlerinde sürücülerin rahatça görebilecekleri yerlere "Yol Ver" işaretlerinin konulması ve kaplama üzerine de bekleme hattını belirten çizgilerin çizilmesi büyük önem taşımaktadır.

Aydınlatma, sürücüler için gündüz saatlerinde sağlanan görüş mesafesini verecek şekilde yapılmalıdır. İyi projelendirilmiş bir aydınlatma, akşam saatlerinde kavşak güvenliğinin en önemli unsurunu teşkil etmektedir.

Dönel kavşaklarda, özellikle orta adada yapılacak yeşillendirme çalışmaları, kavşağın bulunduğu bölgenin görünüşünde de belirgin bir iyileşme sağlayabilir. Fakat aşağıdaki hususlara dikkat edilmemesi durumunda, kavşak güvenliği ve kapasitesinde önemli düşüşler görülebilir:

1. Minimum durma ve görüş mesafeleri sağlanmalıdır.
2. Yayaların, orta adaya geçişleri engellenmelidir.
3. Gerekli minimum yatay açıklık ve yatay alan şartları sağlanmalıdır.

BÖLÜM ÜÇ

DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTELERİNE ETKİYEN DEĞİŞKENLER

Bir kapasite modelinin geliştirilmesindeki en önemli unsurlardan biri, modelde kullanılacak veya dikkate alınacak parametrelerin belirlenmesidir. Her ne kadar dönel kavşaklarda değişik model geliştirme yöntemi uygulansa da, aynı yöntemle geliştirilen modellerin dikkate aldıkları parametreler arasında da bazı farklılıklar görülebilmektedir. Bunun esas nedeni olarak, farklı ülkelerde, farklı sürücü davranışlarının görülmesi gösterilebilir. Bu bölümde, geliştirilmesi düşünülen Dönel Kavşak Kapasite Modeli için kullanılacak parametreler üzerinde durulacaktır.

3.1 Geometrik Parametreler

Yukarıda, farklı modellerde farklı parametrelerin dikkate alındığı belirtilmişti. Tablo 3.1'de, farklı kapasite modellerinde farklı geometrik parametrelerin önem ve kullanım dereceleri görülmektedir.

Çizelgede parametrelerin önemi ve kullanım derecesi çok önemli (3)' ten önemsiz (1)' e kadar değişmektedir. Eğer modelde parametre ile ilgili bazı özel sınırlamalar yapılmışsa, "R" ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1'de verilmiş olan değerlerden girişte genişlemenin keskinlik derecesi (S), yaklaşım genişliği, giriş genişliği ve giriş uzunluğu gibi birden fazla parametreye bağlı olarak belirlenen, kompozit bir değişkendir. Bunun yanı sıra, kavşak çapı ile giriş ve çıkış noktaları arasındaki uzaklık gibi, birçok parametre birbirleriyle ilişkilidir (Hagring, 1996a).

Tablo 3.1 Değişik Modeller için Parametrelerin Kullanım ve Önem Dereceleri (Hagring, 1996a)

Model	w_e N_e	w_a	L	S	D_c	ϕ	w_s	D_i	$w_w N_e$	$w_c w_x$	L	d_c
CAPCAL	3					3			3	2	3	
Avustralya	3							3	3			
TRRL	3	3	2	3	1	1		2				
Norveç	3	3	2	3	R			R				
Fransız	3						2	3	3			
İsviçre 1	3							R	3			
İsviçre 2	3							2	3			2
Alman	3								3			2

Tablodaki parametreler sırasıyla:

w_e : Giriş genişliği,

N_e : Giriş şeridi sayısı,

w_a : Yaklaşımın genişliği,

l : Girişin uzunluğu,

S : Girişte genişlemenin keskinlik derecesi,

D_c : Dönüş yarıçapı,

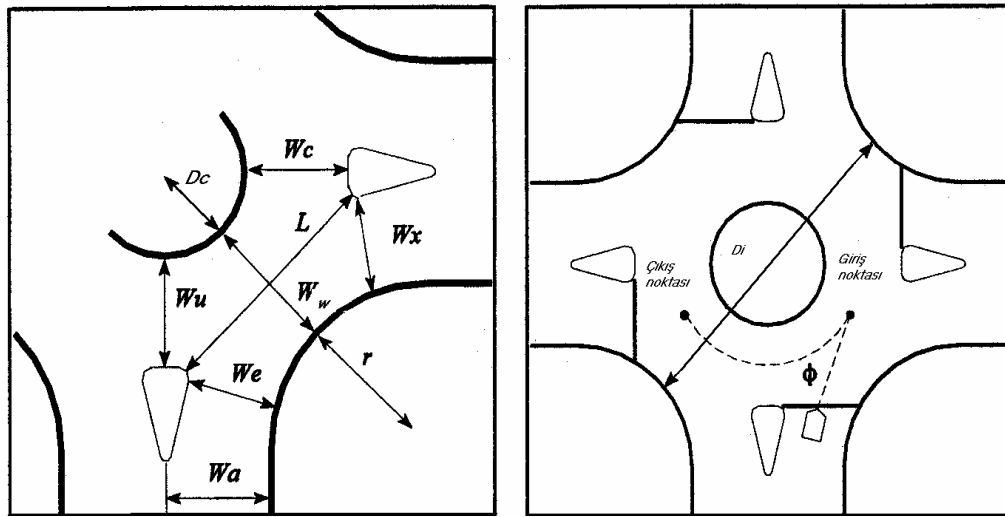
ϕ : Kesişme açısı,

w_s : Giriş kolundaki ayırıcı ada genişliği,

- D_i : Kavşak çapı,
 w_w : Örülme alanının genişliği,
 w_c : Dönüş alanının genişliği,
 N_c : Dönüş şeridi sayısı,
 w_x : Çıkış genişliği,
 L : Örülme alanının uzunluğu,
 d_c : Giriş ve çıkış noktaları arasındaki uzaklık,

olarak ifade edilmektedir. Geometrik parametrelerin bazıları, Şekil 3.1' de görülmektedir.

Tablodan da görülebildiği gibi, bütün geometrik değişkenlerin kullanıldığı bir model mevcut değildir. En fazla değişkenin dikkate alındığı model olarak Transport and Road Research Laboratory TRRL (İngiliz) Modeli gösterilebilir. Aşağıda bazı geometrik parametreler detaylı olarak tartışılmış ve Türkiye' de kullanılabilen bir model için dikkate alınacak parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.1 Kullanılan Geometrik Parametrelerin Gösterimi (Hagring, 1996a)

3.1.1 Yaklaşım Genişliği, Giriş Genişliği ve Giriş Şeridi Sayısı

Giriş genişliği ve giriş şeridi sayısı, bütün modeller tarafından kullanılan ve en önemli geometrik parametreler olarak kabul edilebilecek değişkenlerdir. Şerit sayısı arttıkça, kavşağa giren araçların sayısının, dolayısıyla kapasitenin de artacağı düşünülmektedir. İsveç Kapasite Analiz Modelinde (CAPCAL) her şeridin, diğer şeritlere eşdeğer bir kapasite artışı getireceği öngörülmektedir. Buna benzer bir yaklaşım, TRRL modelinde de göze çarpmaktadır. Diğer modellerde ise bu artış çok daha azdır (Hagring, 1996a).

Türkiye' de yapılan incelemelerde, şerit sayısındaki artışın, kapasiteyi arttırdığı görülmektedir. Ancak bu artış, giren ve dönen akımın araç kompozisyonuna, sürücü davranışına ve diğer geometrik parametrelere bağlı olarak değiştiği söylenebilir.

Çok az durumda kavşak girişinde yolun genişletildiği gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak, kısa sağa dönüş şeritleri ile bir adayla ayrılmış sağa dönüşlerin de dönel kavşaklarda sık tercih edilen durumlar olmadığı, özellikle ikinci tip dönüşlerin çoğunlukla sinyalizasyonla edilmiş dönel kavşaklarda kullanıldığı ortaya çıkmaktadır.

3.1.2 Girişte Genişlemenin Keskinlik Derecesi

Bu parametre, giriş ve yaklaşım genişliğiyle doğrudan ilgilidir. Ayrıca kısa dönüş şeritleri için bir ölçüt oluşturmaktadır. Bu parametrenin TRRL ve Norveç Modellerinde kullanıldığı Tablo 3.1' de görülmektedir. Her iki modelde de büyük önem taşıdığı görülmektedir. Diğer modellerde ise dikkate alınmayan bir parametredir. 3.1.1' de açıklanan sebepler de göz önüne alınarak, geliştirilmesi düşünülen modelde dikkate alınmasına gerek olmadığı düşünülmektedir.

3.1.3 Karışıklık (Ayrılma ve Kesişme) Noktaları Arasındaki Mesafe

İsviçre Bovy Modeli gibi bazı modeller, çıkan akımın da giren akım kapasitesinde belirli bir etkisi olduğunu göz önüne almaktadır (Simon, 1991). Bunun sebebi olarak kavşağa girmek isteyen sürücünün, aynı koldan çıkan bir aracın yoluna devam edip etmeyeceği konusunda tereddüde düşmesidir. Bu büyük oranda, ayırıcı ada genişliğinin büyüklüğüne ve kavşağın dıştan dışa çapına (inscribed diameter) bağlıdır. Avustralya'da yapılan incelemelerde, ilk kapasite modellerinde aynı koldan çıkan araçların görünür bir etkileri olmadığı ve ihmal edilebileceği belirtilmiştir (Troutbeck, 1991). Ancak Akçelik (1998), az da olsa, çıkan araç etkisinin incelenmesi gerektiği görüşündedir.

Türkiye' de sürücü davranışları dikkate alındığında bir kavşaktan çıkan araçların, aynı koldan giren araç kapasitesi üzerinde fazla etkisi olmadığı düşünülebilir. Ancak yapılan gözlemlerde, iki nokta arasındaki mesafe ve dıştan dışa çap değerlerinin yanı sıra, dönüş alanı genişliği ve dönüş şeridi sayısı ile akımlar arasındaki kesişme açısıyla da ilişkili olabileceği görülmüştür.

3.1.4 Kavşağın Dıştan Dışa Çapı

Kavşağın dıştan dışa çapına, birçok model tarafından büyük önem verilmiştir. Özellikle giren ve çıkan arasındaki etkileşimlerin yanı sıra, kavşak içinde meydana gelebilecek kuyruk oluşumunun da dikkate alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Burada belirtilmesi gereken önemli bir nokta, kavşağın dıştan dışa çapı yerine sadece orta ada çapının da dikkate alınıp alınamayacağıdır. İsveç yönteminde, dıştan dışa çap değerine hiç yer verilmemiştir. Orta ada çapının büyük olması, kavşağa giren araçların yönünün saptırılması açısından önem taşımaktadır. Yönü saptırılan araçlarla dönen ana akım içindeki araçların kesişme açısı küçülmekte, dolayısıyla dönüş şeridi genişliğinin dar olduğu durumlarda, kavşağa bağlanan

yaklaşımın kapasitesi de düşmektedir. Kritik aralık kabulü değeri normal şartlarda büyümektedir. Fakat bu şekilde bir uygulama, zaten çok sık görülen sürücülerin kavşağa girmek için ana akımı durmaya veya yavaşlamaya zorlaması durumu daha da artabilir. Bu tip yaklaşım kollarında, çıkan araçların da etkisi incelenmelidir.

3.1.5 Dönüş Şeridi Sayısı ve Örüme Alanının Genişliği

Her ne kadar aynı şeyi ifade etmeseler de bu iki parametre, birbirleriyle yakından ilişkilidir. Özellikle akımların kesişmesi veya birleşmesi açısından büyük önem taşımaktadırlar. Örüme Alanının dar olması, bir sonraki kavşaktan çıkan araçların kavşağa girmeye çalışan araçlara bir engel teşkil etmesine yol açabilir. Ayrıca dönüş şeridi ve sayısı incelendiğine, şu şekilde bir tabloyla karşılaşılmaktadır:

1. Kavşaklarda dönüş şeridi sayısı, giriş şeridi sayısından daha fazla olduğu durumlarda, araçlar giriş şeridi sayısına bağlı olarak hareket etmektedirler (Örneğin; incelenen kavşaklarda üç dönüş şeridi ve iki giriş şeridi bulunmaktadır. Fakat araçların büyük bir kısmı iki şerit halinde hareketlerine devam etmektedirler).
2. Kavşağın dıştan dışa çapı büyük olsa bile orta adanın küçük olması, giren araçların yönlerinin fazla saptırılamaması sonucunu doğurmaktadır. Orta ada çapı büyüdükçe ve buna bağlı olarak dönüş şeridi genişliği daraldıkça, 3.1.4' te anlatılan durum meydana gelmektedir.
3. İlk madde de göz önünde bulundurularak, dönüş şeridi genişliğinin fazla olması, kavşağa giren akım içerisinde sağa dönüş yapan araçların, kavşağa dönen akıma paralel olarak girmeleri mümkün olmaktadır.

3.1.6 Kesişme Açısı

Kesişme açısı, CAPCAL yönteminde büyük önem taşımaya rağmen, TRRL yönteminde çok az bir etkiye sahiptir. Diğer yöntemlerde ise hiç dikkate alınmamaktadır. Bu, kesişme açısının önemli bir parametre olmadığı sonucunu doğurabilir. Ancak özellikle Türkiye'de, dönen akımın büyük bir oranının kapasite incelemesi yapılan yaklaşımdan hemen sonraki kavşaktan çıkmak istemesi, giren akımın büyük bir kısmının ise sola veya doğru geçiş yapmak istemeleri, orta ada çapı da giren araçların yönünü saptırmaya yetmeyecek derecede küçük olması gibi durumlarda, bu açının önemi artmaktadır. Kesişme açısı 90°'ye yaklaştıkça, sürücülerin ana akım içerisinde kabul ettikleri aralık değeri küçülmekte, daha doğru bir deyişle ana akımı geçiş için zorlamaya (gap forcing) başlamaktadır. Bu ise "priority sharing" adı verilen, geçiş hakkı paylaşımı durumunu ortaya çıkarmaktadır.

3.1.7 Giriş Kolundaki Ayırıcı Ada Genişliği

Bu parametre sadece Fransız yöntemlerinde dikkate alınmaktadır. Aynı koldan çıkan akımın, giren akım kapasitesi üzerinde etkili olduğu düşünüldüğünde hesaplara katılabilir. Bu durum özel olarak incelendiğinde etki derecesi de belirlenebilir.

Bazı dönel kavşaklara bağlanan yaklaşımlarda ayırıcı ada olmaması, bazılarında ise çok değişik geometrik şekillerde görülmesi, Türkiye için önemini azaltmaktadır.

3.2 Trafik Akım Parametreleri

Kritik aralık kabulü yöntemi ile geliştirilmiş olan kapasite analiz yöntemlerinde trafik akımıyla ilgili birçok parametre kullanılmaktadır. Lineer yöntemlerle

geliştirilmiş olan yöntemlerde ise birkaç parametre yeterli görülmüştür. Kapasite modellerinde kullanılan trafik akım parametreleri, Tablo 3.2' de görülmektedir.

Tablo 3.2' de verilmiş olan parametreler, trafik akımının tanımlanmasında en önemli olarak kabul edilebilecek parametrelerdir. Hesaplarda kullanılan en önemli iki parametre ise, dönen veya ana akım ile, kavşağa giren akım değerleridir. Özellikle dönen akımın tarifinde bazı zorluklar görülmektedir. Bu tamamen, gözlem yapılan ülkedeki sürücü davranışlarına bağlı bir olgudur. Aşağıda bu değişkenler, ayrı ayrı ele alınarak incelenmeye çalışılacaktır:

Tablo 3.2 Dönel Kavşak Kapasite Analiz Yöntemlerinde Kullanılan Trafik Akımı Parametreleri (Hagring, 1996a)

Modeller	Çıkan Akım	Birleşen Akım	Ağır Araç	Yaya Etkisi
CAPCAL		K	K	K
Avustralya			K	
Danimarka			K	K
TRRL			K	K
Norveç			K	
Fransız	K		K	
İsviçre 1			K	
İsviçre 2	K		K	
Alman			K	

Burada "K", parametrenin yöntemde dikkate alındığını göstermektedir.

3.2.1 Ana Akım

Ana akım, dönel kavşakların kapasite analizinde tanımlanmasında en fazla zorluk çekilen parametredir. Bunun sebebi, kendi içinde farklı ve önemli parametreleri de içermesidir. Özellikle birden fazla dönüş şeridinin olduğu durumlarda, bu zorluk kendisini daha da fazla göstermektedir.

Ana akım, *yan koldaki sürücü üzerinde etkisi olan akımların toplamı* olarak tanımlanabilir (Hagring, 1996a). Bu kavram içerisinde birden fazla olgu barındırılabilir. Aynı koldan çıkan araç sayısı, en uzak dönüş şeridindeki araçların, yanyol kapasitesi üzerinde daha az etkisi olması gibi. Sonuç olarak, ana akım tanımlanırken, bütün bu olguların incelenmesi gerekmektedir.

3.2.1.1 Yaklaşımın Önündeki Ana Akım

Değişik kollardan kavşağa giren akımların manevraları incelenerek, hangi hareketlerin incelenen yaklaşım kolu üzerinde engelleyici etki yaratabileceği belirlenebilmektedir. Ana akımın tarifinde belki de en kolay tanımlanabilen parametre budur. Daha basit bir tarifile, incelenen kolun önünden geçen ve geçiş hakkına sahip olan taşıtların sayılması suretiyle de bu değer elde edilebilir. Ana akımın sadece bu şekilde tanımlanması bazı eksiklikler doğurabilmektedir çünkü, her şeritteki akımın mutlak olarak giren akımı engelleyici bir etkisi olduğu kabul edilmektedir.

3.2.1.2 Dönen Akımın Birleşme Manevralarına Bağlı Olarak Düzeltilmesi

Dönen akım içerisindeki araçların manevralarının, giren akım kapasitesi üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Özellikle CAPCAL yönteminde taşıtların kesişme

ve birleşme manevralarına bağlı olarak bazı düzeltme katsayıları önerilmektedir. Her manevra için farklı kritik aralık kabulü değerleri hesaplanmaktadır. Burada etkili olan bir diğer parametre, kesişme açısıdır. Araçlar ne kadar büyük açılarla birleşir veya kesişirlerse, birbirlerini engelleyici etkileri de aynı oranda fazla olacaktır. Bu durumun Türkiye'de fazla görülmesi, bu yöndeki incelemelerin arttırılması gerektiğini göstermektedir. Bu yöndeki incelemeler, çalışmanın doğruluğunu da arttıracaktır.

3.2.1.3 Aynı Koldan Çıkan Akımın Etkisi

Bir koldan çıkan akımın, giren akım üzerinde etkisi olup olmadığı, bütün kapasite analiz yöntemlerinin geliştirilmesi sırasında tartışılmış ve incelenmiştir. Bovy (İsviçre 2) ve Fransız Yöntemlerinde, çıkan akımın etkisinin önemli olduğu kabul edilerek, formüller bu yönde geliştirilmiştir. Avustralya Yönteminde ise Troutbeck yaptığı çalışmalarda, çıkan akımın etkisini yok denecek kadar az olduğunu belirtmiştir (Troutbeck, 1991). Ancak Akçelik (1998), az da olsa çıkan akım etkisinin mutlaka incelenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Ülkemizde sürücü davranışının, aynı koldan çıkan araçları dikkate almadığı ilk planda düşünülebilir. Yapılan gözlemler sonucunda bu etkinin, kavşak geometrisine bağlı olduğu anlaşılmıştır. Büyük orta ada yarıçapı, iki şeritli fakat dar örülme alanına sahip olan kavşaklarda, aynı koldan çıkan akımın, giren akım üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. (Bu kavşaklarda kavşağa giren araçlar, sağa dönmek zorunda bırakılmaktadırlar. Diğer bir deyişle, kavşak içindeki akımların hareketlerine uyum göstermeleri gerekmektedir. Bu tip kavşaklarda kesişme açısı oldukça küçüktür.) Dolayısıyla, örülme alanı genişliği ile, orta ada yarıçapının, çıkan akım etkisi açısından önemlerinin incelenmesiyle bir sonuca varılması gerekmektedir.

3.2.2 Hız

Araçların hızının da, kavşak kapasitesi üzerinde etkisi olduğu düşünülebilir. Yapılan çalışmalar, "dur" işaretli veya sinyalize olmayan kavşaklarda, ana akım hızının artmasıyla, kritik aralık kabulü değerinin de arttığını göstermiştir. Aynı unsurun, dönel kavşaklar için de geçerli olabileceği göz önüne alınmalıdır (Hagring, 1996a).

3.2.3 Ağır Araç Oranı

Ağır araçların hızları, diğer araçlara oranla daha düşük ve hızlanma süreleri ise daha uzundur. Ayrıca fizik olarak daha büyüktürler. Manevra yetenekleri de daha düşüktür. Bu özelliklerinin, bir kavşak kapasitesine olduğu kadar, bütün karayolu ulaşım sistemlerinin kapasiteleri üzerinde de önemli etkileri olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle trafik mühendisleri, ağır araçları birim oto cinsinden ifade etmeye ve bu şekilde etkilerine daha somut ve gerçekçi biçimde yaklaşmaya çalışmışlardır. Genel olarak ağır araçlar (otobüs ve kamyonlar), 3,0 birim otomobil olarak kabul edilmektedirler. Ancak bu değerlerin çeşitli trafik koşullarına ve özellikle yolun boyuna eğim derecesine bağlı olarak değişebileceği de göz önünde tutulmalıdır.

Dönel kavşaklarda ağır araç etkisi, öncelikle kritik aralık kabulü değerlerini belirlenmesinde görülmektedir. Kavşağa girmek isteyen ağır araçlar, ana akım içindeki araçlar arasında daha uzun aralıkları bekleyecekler ve bu şekilde kavşağa girmeye çalışacaklardır.

Çalışmada gözlem yapılan kavşaklarda, trafik akımındaki otobüs oranı önemli düzeydedir. Burada sadece otobüsler değil, körüklü olarak adlandırılan uzun otobüslerin de geçiş sıklıklarının fazla olması sebebiyle incelenmeleri gerekmektedir.

Çalışmada ilk etapta bu tip araçlar, 3,5 birim otomobil olarak kabul edilmiş ve regresyon analizi gibi işlemler bu kabul ışığında yapılmıştır. Ancak özellikle Montrö Kavşağında hem giren hem de ana akım içerisinde ağır araç etkisinin fazla olması, her iki akım içerisindeki ağır araçların da ayrı olarak incelenmeleri gerektiğini doğurmuştur.

3.2.4 Yayalar

Aslında bu başlık altında yayaların yanı sıra, bisiklet ve motosiklet sürücülerinin de inceleme kapsamına alınması gerekmektedir. TRRL yönteminde, bisiklet ve motosiklet trafiğinin yoğun olduğu dönel kavşaklarda ayrı kapasite hesapları önerilmektedir (Janssens, 1994). Kavşağı kullanan yayalar veya bisiklet ve/veya motosiklet sürücüleri, kavşak içindeki taşıtlar sebebiyle bazı gecikmelere maruz kalacaklardır. Aynı şekilde büyük olasılıkla kavşak kapasitesi de büyük oranda yaya trafiğinden etkilenecektir. Bu sebeple, yaya trafiğinin de mutlak surette bir şekilde hesaplara katılması gerekmektedir. Statens (1995), CAPCAL yönteminde yayalar ve bisikletler, 0,5 otomobil birimi olarak hesaplara katılmıştır. Alman yönteminde ise, yaya trafiğinin önemli olduğu kavşaklarda, ayrı bir formül öne sürülmüştür. Avustralya SIDRA yönteminde ise, kavşak içinde kavşağa giren akımı kesecek şekilde bir yaya trafiğine izin verilmemektedir.

Çalışmada, gözlem yapılan kavşakların bazı kollarında, yayalar için uyarmalı sinyalizasyon sistemleri kurulmuştur. Bu durum, ayrı bir çalışma konusu olabilecek kadar ayrıntılı incelenmesi gereken bir husustur. Yaya trafiğinin önem taşıdığı kavşaklarda, bu etkinin daha geniş biçimde ele alınması gerekmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada yaya faktörü dikkate alınmamıştır.

3.3 Dönel Kavşak Kapasitesinin İncelenmesinde Kullanılan İstatistiksel Dağılımlar

Kavşakların performans ve kapasite araştırmalarında, yanyoldan veya anayoldan gelen araçların gelişlerinin modellenmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun için çoğunlukla istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır. Çalışmada, kavşak kapasitesinin belirlenmesinde etken olan parametreler üzerinde durulurken, kullanılan istatistiksel dağılımların da detaylı bir biçimde incelenmesi gereği ortaya çıkmıştır.

3.3.1 Trafik Akım Modelleri

Trafik akımlarının modellenmesinde iki ana modelleme tekniği kullanılmaktadır:

1. Makroskopik Modeller
2. Mikroskopik Modeller

Makroskopik Model, trafiğin genel karakteristikleri olan hız (v), yoğunluk (k) ve hacme (q) bağılı 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 tanımlanmaya çalışılır.

Mikroskopik modelde ise, yol üzerindeki taşıtların hareketleri tanımlanmaktadır. (Luttinen, 1996) Bu modelde, 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 ve Hamada, 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.

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 olanı, 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 3.2a) 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 3.2b) Zaman cinsinden aralık değeri, mesafe cinsinden aralık değerine oranla çalışmalarda daha fazla dikkate alınmaktadır. Bunun sebebi şu şekilde sıralanabilir:

a- Zaman cinsinden aralık değerleri ile hacim değeri arasında doğru bir ilişki bulunmaktadır.

$$q = \frac{1}{t} \quad (3.1)$$

Burada

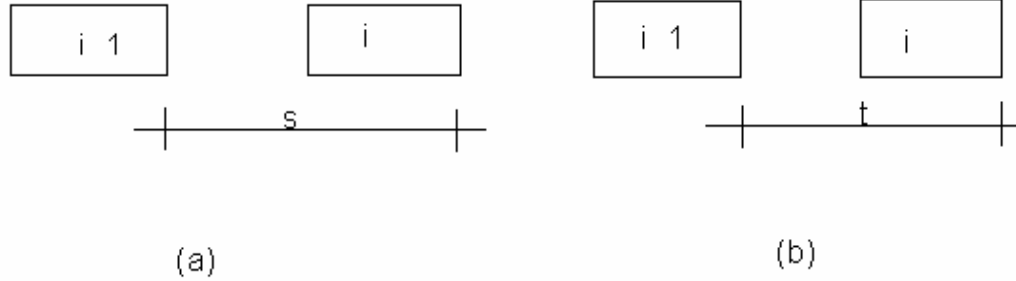
q : hacim (araç/zaman)

\bar{t} : ortalama zaman cinsinden aralıktır. (saniye)

Benzer bir ilişki yoğunluk ile uzunluk 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 geçişi arasındaki süreyi tahmin etmek daha kolaydır.

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



Şekil 3.2 Mesafe ve Zaman Cinsinden Aralıklar (Tanyel, 2001)

Her iki modelleme yönteminin de yararlandığı bazı istatistiksel dağılımlar mevcuttur. Bunlar aşağıda kısaca inceleneceklerdir.

3.3.2 Trafik Modellerinde Kullanılan İstatistiksel Dağılımlar

3.3.2.1 Makroskopik Modeller

Yolun belirli bir kesitindeki taşıt geçişlerinin birbirinden bağımsız ve rasgele olduğu kabul edilirse; birim zamanda geçen ortalama taşıt sayısı " q " ve gözlem süresi " t " ise, bu süre içerisinde bu kesitten geçebilecek taşıt sayısı " $q.t$ " olarak bulunacaktır. Ancak, gelişlerin rasgele olması, her " t " aralığındaki araç sayısının birbirinden farklı olması sonucunu doğurmaktadır.

Yapılan araştırmalar, bir yaklaşımdan kavşağa belirli bir " t " süresi içerisinde " x " sayıda taşıt gelme olasılığının Poisson, Binom veya Negatif Binom dağılımlarından birisine uyduğunu göstermektedir. Burada dağılımı belirleyen parametre, ortalama-varyans ilişkisidir. Yine yapılan araştırmalar, yukarıda sözü geçen dağılımlar arasında Poisson dağılımının genelde yaklaşan trafik akımını en iyi temsil ettiği görülmüştür.

Bir kavşağa bağlanan kollardan herhangi birisinde bulunan trafik akımı eğer bir serbest akımsa (bir kesintiye uğramıyorsa), bu akıma ait verilerin Poisson dağılımına uydukları görülmektedir. Ancak özellikle şehir içi trafiğindeki araç akımlarının genelde serbest akım özellikleri taşımadığı bilinmektedir. Bunun sebebi, incelenen kesitten önce sinyalize bir kavşak veya benzer durumların mevcut bulunmasıdır. Bunun sonucunda incelenen kesitten geçen araçların sayısı, bir önceki kavşaktaki ışığın rengine bağlı olarak bazen yüksek ve bazen de çok düşük olacaktır. Bu da akıma ait verilerin varyansının çok yüksek olması sonucunu doğurmaktadır.

Karşılaşılan diğer bir durum da, kesitten geçen araç sayısının uzun süre çok yüksek olmasıdır. Bu da yine özellikle şehir merkezlerinde çok sık karşılaşılabilen trafik koşullarından birisidir. Özellikle zirve (zirve) saatlerde yolda, uniform ve

yoğun fakat taşıtların birbirini engellemediği akımlar gözlenmektedir. Bu koşullarda, kesitten geçen araçların sayısı ve dolayısıyla ortalaması çok yüksek olacak; bunun yanı sıra araç sayısı birbirine çok yakın olduğundan akıma ait verilerin varyansı çok düşük olacaktır.

Yukarıda açıklanan koşullar altında hareket eden akımlar, Poisson dağılımı ile temsil edilemezler. Akımların Binom veya Negatif Binom dağılımlarına uygunlukları araştırılmalıdır (Gedizlioğlu, 1979a).

3.3.2.2 Mikroskopik Modeller

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.

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 Hyperekspansiyel, Hyperlang, M/D/1 kuyruk modeli, Genelleştirilmiş Kuyruk Modeli ve Yarı-Poisson Modeli gösterilebilir.

3.3.2.3 Basit İstatistiksel Modeller

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

$$f(t) = \frac{\varpi}{\Gamma(K)} [\varpi(t - \Delta)]^{K-1} e^{-\varpi(t-\Delta)} \quad (3.2)$$

Burada

$f(t)$: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu;

ϖ : Ortalama aralık değeri ile kullanıcı tarafından belirlenen K ve a parametrelerinin bir fonksiyonu;

K : Dağılımın şeklini etkileyen ve kullanıcı tarafından seçilen, "0" ile " ∞ " arasında değişen bir parametre;

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

$$f(t) = \frac{\varpi}{\Gamma(K)} (\varpi \cdot t)^{K-1} e^{-\varpi \cdot t} \quad (3.3)$$

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

$$f(t) = \frac{\varpi}{(K-1)!} (\varpi \cdot t)^{K-1} e^{-\varpi \cdot t} \quad (3.4)$$

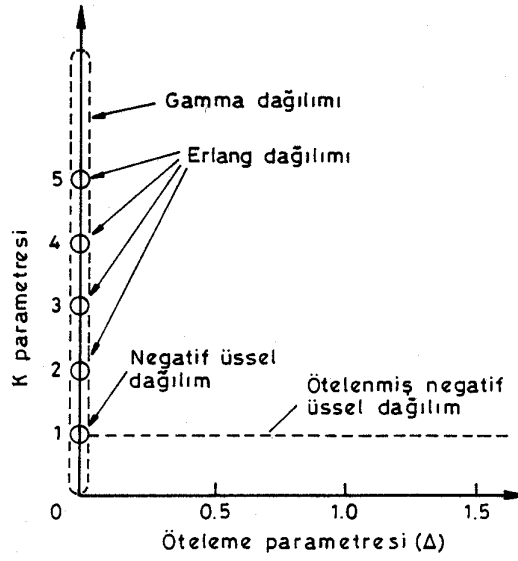
K=1 ve $\Delta = 0$ olması halinde ise dağılım, negatif üssel dağılım halini almaktadır.

$$f(t) = \varpi \cdot e^{-\varpi \cdot t} \quad (3.5)$$

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)

$$f(t) = \varpi \cdot e^{-\varpi \cdot (t-\Delta)} \quad (3.6)$$

Şekil 3.3'te, Δ ve K katsayılarına bağlı olarak yukarıda belirtilen dağılımların yerleri görülmektedir.



Şekil 3.3 "Δ" ve "K" Katsayılarına Bağlı Olarak Basit

Dağılımların Grafik Gösterimi (May, 1990)

Yukarıda belirtilen dağılımların yanı sıra, lognormal dağılım da araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma(t - \Delta)\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{[\ln(t-\Delta) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (3.7)$$

Zaman cinsinden aralık modellerinin teorik değerlendirilmesinde üç unsur dikkate alınmaktadır:

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

Basit dağılımlar, genel olarak kullanımları basit olmasına rağmen, zaman cinsinden aralık değerlerinin tanımlanmasında yetersiz kalabilmektedirler. Özellikle dağılımın kuyruk kısmının tanımlanmasında, basit dağılımlar kullanıldığında büyük sorunlarla karşılaşabilmektedir. Bu da zaman cinsinden aralık değerlerinin modellenmesinde farklı özelliklere sahip dağılımların kullanılması zorunluluğunu doğurmaktadır. Bu durumda karmaşık modeller önem kazanmaktadır.

3.3.2.4 Karmaşık İstatistiksel Modeller

Basit dağılımlarla ilgili en önemli problem, zaman cinsinden aralık dağılımının zirve ve kuyruk kısımlarını tanımlamalarındaki yetersizliktir. Çok düşük hacme sahip akımlarda bile, mod çevresinde yığılmalar görülmektedir. Yapılan incelemeler ise kuyruk kısmında dağılımın üssel dağılımla benzerlikler gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlar ise, iki farklı araç grubu olduğunu göstermektedir.

Daha önceki bölümlerde, incelenen kavşaktan önce sinyalize bir kavşak bulunması gibi sebeplerden, trafik akımı içindeki araçların serbest veya başka bir deyişle birbirlerinden bağımsız ve tamamen rasgele hareketlerinin kısıtlanacağı; dolayısıyla kavşağa gelişlerinin Poisson dağılımına uyamayacağı belirtilmişti. Özellikle kırmızı ışık sonrası araçların bir grup halinde harekete başladıkları gözlemlenmektedir. Yine de grubun en önündeki araçlar gibi gruptaki diğer araçların hızlarını onlara göre ayarladıkları ve/veya hareket edilen mesafe uzadıkça grupla beraber hareketine başlayan fakat hızını artırarak gruptan ayrı hareket etmeye çalışan araçlar olacaktır. Bu araçlar, "serbest hareket eden araçlar" olarak adlandırılabilir.

Dawson ve Chimini'ye göre bir aracın serbest hareket eden araç olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

1. Zaman cinsinden takip aralık değeri, "uygun" bir uzunlukta olmalıdır.
2. Serbest araç, hızını öndeki araca göre ayarlamamak için, rahatça geçiş yapabilmelidir.
3. Geçiş işlemi tamamlandıktan sonra bile, serbest aracın hala bağımsız bir birim olarak hareket edebilmesi için uygun bir hızı koruyabilmesi gerekir (Luttinen, 1996).

Diğer araçlar ise takip eden araçlar olarak adlandırılabilirler. Aslında araç grupları, dört farklı kategoride toplanabilirler:

1. Serbest araçlar,
2. Takip edenler,
3. Serbest araçtan, takip eden araç konumuna geçenler,
4. Geçiş hareketine başlayan araçlar. (Luttinen, 1996)

Ancak son üç kategoride bulunan araçları birbirlerinden ayırmak güç olduğundan, iki ana grup kabul edilmiştir.

Bu tip iki araç grubuna sahip bir akımın istatistiksel olarak modellenmesinde, basit istatistiksel dağılımlar yetersiz kalmaktadırlar. Bu durumda yeni bir dağılım aranması gerekmektedir.

Genel yaklaşım, iki gruptaki araçların bulunduğu bir akımın zaman cinsinden aralıklarının modellenmesi için iki olasılık dağılım modelinin birleşmesinden meydana gelen yeni bir dağılımın kullanılmasıdır. Günümüzde, çeşitli ülkelerde en fazla kabul gören dağılımlardan biri, Cowan M3 dağılımıdır.

3.4 Cowan M3 Dağılımı

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

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

$$t = v + u \quad (3.8)$$

Burada

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

u : Serbest hareket eden araçlar arasındaki aralıktır.

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: Işıktaki 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 (1975), zaman cinsinden dört aralık modeli üzerinde incelemeler yapmıştır. Bu modellerin Olasılık Dağılım Fonksiyonları aşağıda verilmektedir:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 - e^{-\lambda t} & t \geq 0 \end{cases} \quad (\text{M1}) \quad (3.9)$$

$$= \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 - e^{-\lambda t} & t \geq 0 \end{cases}$$

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 - e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{cases} \quad (\text{M2}) \quad (3.10)$$

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

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 - (1-\theta)e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{cases} \quad (\text{M3}) \quad (3.11)$$

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

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \theta B(t) + (1-\theta) \int_0^t B(t-u) \lambda e^{-\lambda u} du & t \geq 0 \end{cases} \quad (\text{M4}) \quad (3.12)$$

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

Burada

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

θ : trafik akımında grup halinde hareket eden araç oranı,

λ : düzeltme katsayısı,

Δ : birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeridir.

λ değeri aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\lambda = \frac{q\alpha}{1-q\Delta} \quad (3.13)$$

Burada " α ", serbest hareket eden araç oranı, diğer bir gösterimle " $1-\theta$ "dır.

M1 modeli, negatif üssel dağılımdır. Bu durum, gözlem noktasına gelen araçların gelişlerinin Poisson dağılımına uyduğunu göstermektedir. Bu durumda araçlar

arasında gruplanma olmayacak ve zaman cinsinden aralık değerinin " v " bileşeni sıfır olacaktır.

M2 dağılımı, ötelenmiş negatif üssel dağılımdır. Burada Δ değeri, birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeridir. Zaman cinsinden aralık değerlerinin serbest bileşenin dağılımı daha sonra negatif üssel dağılıma uygun olarak kabul edilebilir. Zaman cinsinden takip aralık değerinin "0" alınması, ötelenmiş negatif üssel dağılımı, negatif üssel dağılıma çevirir (Sullivan ve Troutbeck, 1994).

M3 ve M4 dağılımları ise iki aşamalı zaman cinsinden aralık modelleridir. Bunlardan M3 modeli, zaman cinsinden takip aralık değerini, M2 formülüyle 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, " θ " oranındaki araçların, öndeki araçların arkasında bir Δ aralığıyla dizildiğini kabul etmektedir. Bu araçlar, grup halinde hareket ediyor kabul edilebilirler. Akım içindeki diğer araçlar ise serbest bir şekilde ve Δ 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 ve Troutbeck, 1994).

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

$$B(t) = 0 \quad t < \Delta \quad (3.14)$$

$$B(t) = 1 \quad t \geq \Delta$$

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

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 ve Chung, 1994) (Sullivan ve Troutbeck, 1994) (Hagring, 1996a).

Çalışmalarda, özellikle sinyalize olmayan kavşaklarda, ana akım içerisindeki araçlar arasındaki daha uzun sayılabilecek zaman cinsinden aralık değerlerinin dağılımlarının bilinmesi; yanyol kapasitesinin tespit edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Luttinen (1999), Cowan M3 dağılımı kullanılarak hesaplanan kapasite değerlerinin, Yarı Poisson dağılımı kullanılarak hesaplanarlardan çok farklı sonuçlar vermediğini belirtmiştir. Bu da dağılımın, basit olmasına rağmen ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir.

3.4.1 Cowan M3 Dağılımının Parametreleri Hakkında İncelemeler

Cowan M3 dağılımında, parametrelerin üzerinde özellikle durulması gerekmektedir. Bunun sebebi, bu parametrelerin değerlerinin değişik uygulamalarda farklı ve çok çeşitli değerler alabilmesidir. Özellikle " λ " parametresinin, trafik mühendisliği açısından taşıdığı anlam üzerinde bir belirsizlik vardır. Ayrıca serbest araç oranı olarak tanımlanan " α " katsayısının değişik bağıntılarla hesaplanabilmesi,

Cowan M3 dağılımının uygunluğunun araştırılmasında büyük önem taşımaktadır. Akçelik ve Chung (1994), dağılımı " α " katsayısına bağlı olarak iki farklı şekilde tanımlamışlardır. Yapılan literatür araştırmalarında, farklı trafik mühendisleri tarafından " α " katsayısını veren değişik bağıntılar önerildiği görülmektedir.

3.4.1.1 Minimum Zaman Cinsinden Aralık Değeri (Δ)

Ana akımdaki zaman cinsinden aralık değeri, dağılımın uygunluğunun belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Troutbeck(1991) ve Hagring (1998), " Δ " katsayısı sabit tutularak diğer parametrelerin rahatlıkla hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Yapılan gözlemler, " Δ " katsayısının 0,5 saniye ile 2,5 saniye arasında değiştiğini göstermektedir (Akçelik ve Chung, 1994; Hagring, 1998). 1,0 saniyeden daha küçük aralıkların genel olarak ,ana akımda birden fazla şerit bulunması durumunda, farklı şeritlerdeki araçlar arasında gözlenebileceği kabul edilmektedir (Hagring, 1996b). Ana akımın tek şerit olması durumunda, " Δ " değerinin 1,5 saniye ile 2,0 saniye arasında değiştiği hesaplarda dikkate alınmaktadır. Bu değer Avustralya Kapasite Analiz Modeli SIDRA' da ve İsveç Kapasite Analiz Modeli CAPCAL' da 1,8 saniye olarak hesaplara katılmaktadır (Akçelik ve Chung, 1994)(Statens, 1995).

Her şeritte ayrı bir " Δ " değerinin bulunabileceği açıktır. Ancak bazı çalışmalarda birden fazla şerit (çoğunlukla 2 şerit), tek bir şeritmiş gibi düşünülerek hesap yapılmaktadır. Bu yaklaşım, kapasite hesaplarında büyük kolaylıklar sağlamasına rağmen; yanlış sonuçlar elde edilmesine yol açabilir.

" Δ " değerinin, gözlenmiş bir değer olmadığı unutulmamalıdır. Diğer parametreler gibi, gözlenen dağılımların ortalama, varyans ve çarpıklık katsayıları kullanılarak

hesaplanan bir değerdir. Böylece, gözlenen dağılımı en iyi ifade eden " Δ " değerinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

3.4.1.2 Serbest Araç Oranı (α)

Serbest araç oranı " α ", Cowan M3 dağılımının yapısını etkileyen belki de en önemli parametredir. Ana akım içindeki serbest araç sayısının doğru olarak belirlenmesi; Cowan M3 dağılımının gözlenen dağılıma uygunluğunu da belirleyen önemli bir unsurdur. Bunun yanı sıra, birden fazla bağıntıyla hesaplanabilmesi, bu parametrenin daha detaylı bir şekilde incelenmesi gereğini ön plana çıkarmaktadır.

" α " değerinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli problem, birbirlerini hangi uzunlukta bir aralıkla takip eden araçların grup halinde hareket eden araçlar olarak; hangilerinin de serbest hareket eden araçlar olarak tanımlanabileceğidir. Troutbeck(1997), 2 saniyeden daha küçük aralıklarda, araçların büyük olasılıkla grup halinde hareket ettiklerini, 4 saniyeden daha büyük aralıklarda ise, araçların serbest olarak kabul edilebileceklerini belirtmiştir. Yine Troutbeck' in (1997) çalışmalarına göre, 4 saniye araçların tamamen serbest hareket ettikleri zaman cinsinden aralık sınırı olarak kabul edilebilir. Ancak bunun her zaman geçerli bir kabul olarak öne sürülmesi de doğru değildir.

İlk olarak Tanner (1962), serbest araç oranını, aşağıdaki bağıntıyla vermiştir:

$$\alpha = 1 - \Delta \cdot q_c \quad (3.15)$$

AUSTROADS'da ise, bu bağıntıdan elde edilen değerlerin %75'inin , gerçek serbest araç oranını verdiği öne sürülmüştür (Akçelik, 1998):

$$\alpha = 0,75 \cdot (1 - \Delta \cdot q_c) \quad (3.16)$$

Akçelik ve Chung (1994) ise, serbest araç oranının bir üssel eğriye uyduğunu öne sürmüşlerdir:

$$\alpha = e^{-b \cdot \Delta \cdot q_c} \quad (3.17)$$

Burada "b", gruplanma model parametresidir. Kesintisiz akımlar ve dönel kavşaklar için "b" değerleri ve bağıntılar, Tablo 3.3'te görülmektedir.

Tablo 3.3: Trafik Akımı İçindeki Serbest Araç Oranının Belirlenmesi için Kullanılan Parametreler (Akçelik, 1998)

Toplam Şerit Sayısı	Kesintisiz Trafik Akımları			Dönel Akımlar		
	Δ	B	α	Δ	B	α
1	1,5	0,6	$e^{-0,9q}$	2	2,5	$e^{-5,0q}$
2	0,5	0,5	$e^{-0,25q}$	1,2	2,5	$e^{-3,0q}$
>2	0,5	0,8	$e^{-0,4q}$	1,0	2,5	$e^{-2,5q}$

Plank, 3. dereceden bir denklemin, " α " parametresinin belirlenmesinde daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir (Hagring, 1998):

$$\alpha = 1 - \Delta^2 q_c^2 (3 - 2\Delta q_c) \quad (3.18)$$

Hagring (1996), değişik Δ değerleri için, α ile q_c arasında doğrusal bir ilişki olduğunu öne sürmüş ve aşağıdaki bağıntıları önermiştir:

$$\alpha = 0,914 - 1,549q_c \quad (3.19a)$$

$$\alpha = 0,910 - 1,156q_c \quad (3.19b)$$

Yukarıdan da görülebildiği gibi, çok farklı bağıntılardan " α " elde edilebilmektedir. Bu da " α "nın farklı tanımlanmasından ve özellikle değişik ülkelerdeki sürücü davranışlarının farklılığından kaynaklanmaktadır.

Tanyel ve Yayla (2003), özellikle çok şeritli kavşaklar için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1,25 - 1,13\Delta q_c \Leftrightarrow \Delta q_c \geq 0,22 \\ \alpha &= 1 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Akçelik (2003), α için ayrıca aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$\alpha = \frac{2}{(1 + s^2(1 - k)\Delta q_c)^2} \quad (3.21)$$

3.4.1.3 " λ " Parametresi

Troutbeck (1991), " λ " katsayısını, bir azaltma faktörü olarak tanımlamıştır. Akçelik ve Chung (1994), " λ "nın bir model parametresi olduğunu belirtmişlerdir. Haging(1998), bir dağılımın üssel kısmının etkisi olarak " λ " parametresini açıklamaya çalışmıştır. Buradan da görülebildiği gibi, " λ "nın tanımlanmasında önemli bir belirsizlik vardır.

" λ " katsayısı hakkında daha belirgin bir görüş sahibi olabilmek için, 3.13 bağıntısı bir kez daha incelendiğinde; payda kısmında yer alan " $1 - \Delta q_c$ " ifadesinin, Tanner'ın (1962) vermiş olduğu " α " değeri bağıntısı olduğu görülmektedir. Eğer işlemin payında verilen " α " değeri " $1 - \Delta q_c$ " bağıntısına eşit olursa; " $\lambda = q_c$ " olur. Bu ise, " λ " değeri hakkında fikir verebilecek derecede önemli bir sonuçtur.

Tanner (1962), serbest araç oranının, doğrusal bir şekilde değiştiğini kabul etmektedir. Bu her zaman doğru olmayabileceği gibi, ülkeden ülkeye de değişiklik gösterebilmektedir. Eğer Tanner'ın bağıntısının, ideal bir değer verdiği kabul edilir ve bu bağıntının genelde bir üst sınır oluşturduğu göz önünde bulundurulursa (sadece Plank'ın bağıntısı, düşük akımlarda daha büyük yüzde değerleri vermektedir; Bkz. Bölüm 6); " λ " parametresi, "serbest araç oranı değişiminin, ana akım üzerindeki etkisi" olarak tanımlanabilir.

3.4.2 Dağılımın Parametrelerinin Belirlenmesi

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

1. Momentler yöntemi
2. Maksimum olabilirlik yöntemi
3. En küçük kareler yöntemi

3.4.2.1 Parametre Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Hagring (1996b), Maksimum Olabilirlik Yönteminin sonuçlarının, gözlenen dağılıma uymadığını; Momentler Yöntemi ile daha uygun sonuçlar elde edildiğini öne sürmüştür.

Troutbeck (1997), özellikle " Δ " değerinin belirlenmesinde ve " Δ " parametresine bağlı olarak diğer parametrelerin hesaplanmasında En Küçük Kareler Yönteminin uygulanmasının, iyi sonuçlar verdiğini öne sürmüştür.

Luttinen (1999) ise, Troutbeck gibi, " Δ " parametresinin, En Küçük Kareler Yöntemi ile hesaplanmasını daha uygun olacağını öne sürmüştür. Buna gerekçe olarak, " Δ " katsayısının sabit bir değer olarak seçilmesinin bazı sakıncalar doğurabileceğini; Momentler Yönteminde çarpıklık katsayısı kullanılarak " Δ " değerinin hesaplanabileceğini; ancak " Δ " değeri tahminlerinin, çarpıklık katsayısındaki küçük hatalara karşı bile çok hassas olduğunu ve gözlemlerin çarpıklık katsayısının varyansının değişken olması sebebiyle " Δ "'nın hesaplanmasında Momentler Yönteminin kullanılmasının hataya yol açabileceğini belirtmiştir.

Bunun yanında, gözlemlerin ortalama ve varyansları kullanılarak " α " ve " λ " parametrelerinin hesaplanmasının daha sağlıklı ve kolay olabileceğini öne sürmüştür.

Ayrıca Luttinen (1999) ve Akçelik ve Chung (1994), bazı durumlarda " Δ " değerinin sabit seçilmesinin uygun olabileceğini fakat, farklı trafik ortamlarında farklı " Δ " değerlerinin hesaplanmasının daha sağlıklı olacağını söylemişlerdir.

BÖLÜM DÖRT

DÖNEL KAVŞAK KAPASİTE HESAP YÖNTEMLERİ

4.1 Kapasitenin Tanımı

Kapasite, Drew (1968) tarafından, hakim yol ve trafik koşulları altında yolun veya bir şeridin bir noktasından geçebilecek maksimum araç sayısı, olarak tanımlanmıştır. Bu tanım, tek bir trafik akımı için tanımlayıcı olabilirse de, özellikle kavşaklarda görülen daha karmaşık durumlarda kapasiteyi etkileyici çeşitli unsurlarla da karşılaşabilmektedir. Belirtilen karmaşık duruma gösterilebilecek en iyi örnek, aşağıdaki sınırlamalar sahip bir dönel kavşaktır:

1. Eğer giriş şeridi sayısı, dönüş şeridi sayısından daha fazla ise.(örneğin girişte kısa dönüş şeridi varsa), dallanma noktasında bir şişe boynu oluşabilir.
2. Duruş çizgisi de kapasiteyi sınırlayan önemli unsurlardan biridir.
3. Örüme sahasının çok dar olması, ağır araçların zor manevra yapmalarına neden olabilir.
4. Kavşaktan çıkan araçların hareketleri, yaya trafiğiyle engellenebilir (Hagring, 1996).

Çok şeritli bir dönel kavşakta her bir şeridin kullanım oranının belirlenmesi önemlidir. Çünkü bazı şeritlerde aşırı yükleme olurken bazıları kullanılmaz durumdadır.

Bu bölümde tanımlanan metot, her yaklaşımdaki trafik hacimlerinin belirlenmesine gerek duyar. Farklı büyüklükteki araçların kapasite üzerinde farklı etkileri vardır. Binek yolcu araçları temel araç olarak kabul edilir ve ona göre araç eşdeğerlikleri aşağıdaki gibi bulunmuştur (pce) :

Otomobil → 1

Otobüs veya tek birimli kamyon → 1,5

Tır → 2

Bisiklet veya motosiklet → 0.5

Trafik hacimleri en azından sabah ve akşam olmak üzere günün farklı saatlerinde ve farklı sürelerde yapılacak gözlemler sonucu bulunmalıdır. Yaklaşımlar ve dönen hacimler bu farklı gözlemlere göre farklı değerler verirler.

Yaklaşım sayısının 4' ten fazla olması durumunda hesaplama yapmanın karmaşık bir hal alması nedeniyle “ Başlangıç-Son: Origin-Destination “ O-D hareketleri önem kazanmıştır.

Giriş akımı, yaklaşımda düz geçen, sola dönen ve sağa dönen akımların toplamıdır. Dönen akım ise ada etrafında diğer yaklaşım hareketinin önünden geçen araçların toplamıdır. Sağa dönüşler yaklaşım hacmine ve kapasite hesabına dahil edilir ama dönen akım hesabına dahil edilmez çünkü bir sonraki yaklaşımın önünden geçerek hareketlerine devam etmezler.

Dönen akımdaki aralıklar, sürücülerin giriş yapabilmeleri için çok uygundur. Dönen akım oranı arttığında, dönen akımdaki aralık oranı azalır ve giriş yapabilecek araç sayısı da düşer.

Böylece, kapasite 3 temel elemente sahiptir:

1. Kapasite, o bölgenin özel ölçüsüdür
2. Kapasite, maksimum akım oranıdır
3. Kapasite, kararlı hal durumlarını tanımlar

Kapasite, verilen koşullar altında beklenen maksimum taşınabilir akım oranıdır. Kapasite, zamanın kısa bir parçasında gözlenen maksimum akımı tanımlamaz.

Verilen koşullarda, uzun bir zaman periyodunda ortalama ya da beklenen maksimum taşınabilir akım oranını tanımlar.

HCM2000' de potansiyel kapasite ve hareket kapasitesi olmak üzere 2 çeşit kapasite tanımlanmaktadır.

Kapasite, dört basamakta hesaplanır:

1. Kritik aralık ve takip aralığı değerleri hesaplanır
2. Potansiyel kapasite hesaplanır
3. Yüksek öncelikli kuyrukların etkisi de göz önünde tutularak hareket kapasitesi hesaplanır
4. Bir şeritteki değişik manevralara (sağa, sola dönüş gibi) ait kapasite, şeridin ortak kullanımı veya kısa dönüş şeridi olmasına göre hesaplanır (HCM, 2000).

Kapasite, çok basit olarak aşağıdaki formülle tanımlanabilir:

$$Q_R = \sum_{i,l} Q_{il} \quad (4.1)$$

Burada

Q_R = Dönel kavşağın toplam kapasitesini,

Q_{il} = Kavşağa bağlanan "i" kolundaki "l" şeridinin kapasitesini,

ifade etmektedir (Hagring,1996)(Kerényi, 1998).

Bu bağıntı, sadece durma çizgisindeki koşulu dikkate almakta ve taşkın akımı hesaba katmamaktadır. Kapasite, en yüksek hacme sahip olan giriş şeridinin tam doygun olduğu durum olarak da ifade edilebilir (Hagring, 1998). Bir şeridin doygunluk derecesi, bir şeritten birim zamanda geçen araç sayısının, aynı zaman biriminde geçebilecek en yüksek araç sayısına, yani kapasiteye oranıdır. Bu değer "1" olması, şeridin tam kapasitede çalıştığını gösterir.

Dönel kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında iki ana yöntemden söz edilebilmektedir. Bu yöntemler:

1. Geometrik yöntem,
2. Davranışsal yöntemdir.

Geometrik yöntem, zirve saatlerde dönel kavşağa giren ve kavşakta dönüş hareketini yapan araçlar arasındaki etkileşimi incelemektedir. Yöntemin uygulamasında, regresyon parametre değerlerinin, bağlı geometrik parametrelerle ilişkilendirilmesine çalışılmaktadır. Bu geometrik parametrelere örnek olarak şerit sayısı, yuvarlak ada çapı, dönel kavşağa bağlanan kol sayısı, yaklaşımın giriş ve çıkış noktaları arasındaki mesafe, v.b. gösterilebilir (Janssens, 1994).

Davranışsal yöntemde ise kavşağın, geçiş hakkına sahip dairesel bir tek yönlü yola bağlanan T şeklinde kavşaklardan oluştuğu kabul edilmektedir. Bu, sürücü davranışına ve kritik aralık kabul teorilerine dayanan klasik kavşak teorisinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır (Janssens, 1994). Yukarıda açıklanan teorilere bağlı olarak Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde ve Avustralya'da birtakım hesap yöntemleri geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur.

Geometrik yönteme bağlı olarak anlamlı bir kapasite hesabı yapılabilmesi için incelenen kolda en azından yarım saat boyunca sürekli kuyruk olması gerekmektedir. Bu durum dışında yapılan regresyon analizleri, anlamlı sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle, davranışsal yöntemlerin kullanılması yoluna gidilmektedir.

Davranışsal yöntemlerin en önemlisi, kritik aralık kabulü yöntemidir.

4.2 Kritik Aralık Kabulü Yöntemi

4.2.1 Genel

Yanyoldan kavşağa gelen bir sürücü, kavşak boş fakat anayoldan kavşağa yaklaşan taşıt varsa önegiriş aralığı (lag) ile, kavşak dolu ve kavşağa yaklaşmakta olan taşıt var ise, bu anayol taşıtları arasındaki arayagiriş aralığı (gap) ile karşılaşacaktır (Gedizlioğlu 1979a). Diğer bir tanımla yan yoldan gelen bir sürücü ana akım içine ancak ana akımda kendisi için güvenli gördüğü "T" gibi bir zaman cinsinden kritik aralık değerine eşit veya daha büyük bir aralık bulunduğunda katılabilecektir (Hagring, 1996). Bu durum, Şekil 4.1' de görülmektedir. Kritik aralığın büyüklüğü, mümkün olan en az gecikme için seçilen en güvenli minimum zaman cinsinden aralık değeri olarak da ifade edilebilir.

Kritik aralık, ana yoldaki geliş şeritleri, sola dönüş şeritlerinin ortasında hazır bulunulması, manevra tipi, ana yolun hızı, günün saati, karşılıklı trafik akışının toplamı ile belirlenir (Hamed, Easa, Batayneh, 1995).

Kritik aralık aşağıdaki faktörlere dayanır:

- (1) gerçekleşen manevranın tipine;
- (2) tali yol üzerindeki trafik kontrol tipine(dur yada geçiş işaretleri);
- (3) ana yol üzerindeki ortalama sürüş hızına;
- (4) ana yol üzerindeki şerit sayısına;
- (5) kavşak geometrisi ve çevre koşullarına (*Highway, 1994*).

Her sürücünün kabul ettiği aralık değeri birbirinden farklı olabilir. Bir sürücünün kabul ettiği bir aralık değerinden çok daha uzun bir aralık değerinin başka bir sürücü tarafından kabul edilmemesi sık görülen bir olaydır (Gedizlioğlu 1979a). Her sürücü kabul edeceği aralığı, belirli bir düşünce sonucunda seçmektedir. Bu seçimde

sürücünün yaşı, cinsiyeti, fiziksel durumunun yanı sıra karakteri de önemli bir rol oynamaktadır.

Genç ve erkek sürücüler, bekleme süresini sonlandırma konusunda daha fazla risk almakta ve daha kısa bekleme süresi kullanmaktadırlar. Erkek sürücüler için cinsiyet değişkeni pozitif bir katsayıya sahiptir; bu da erkek sürücülerin bekleme sürelerini erken sonlandırdığını ve kadın sürücülerle karşılaştırıldığında daha kısa bekleme süreleri kullandığını belirtir. Diğer bir nokta da; yaşın negatif bir katsayı olmasıdır; yaşlı sürücüler bekleme sürelerini bitirmede daha az risk alır ve daha uzun bekleme süreleri kullanırlar. Çünkü genç ve erkek sürücüler genellikle kadın ve yaşlı sürücülere göre daha agresiftirler. Daha yaşlı (veya daha fazla yol yapmış) araçları kullanan sürücüler, daha yeni (veya daha az yol yapmış) araçları kullanan sürücülerden daha geniş aralıkları kabul ederler. Bu, aracın çabucak “kavraması”na dayalı olabilir. Yani, eski bir arabanın sürücüsü daha az risk alıp daha uzun bir aralık (ve daha uzun bekleme süresi) kabul edebilir, çünkü daha kısa bir aralığı kabul ettikten sonra kavşağı geçme konusunda aracın yetisinden emin değildir. Başka bir açıklama, yeni bir araç sahibinin, yeni aracıyla gösteriş yapmak için daha agresif davranış göstermesidir. Sürücü yaşı araç yaşına benzer karakteristik gösterir (Hamed, Easa, Batayneh, 1995).

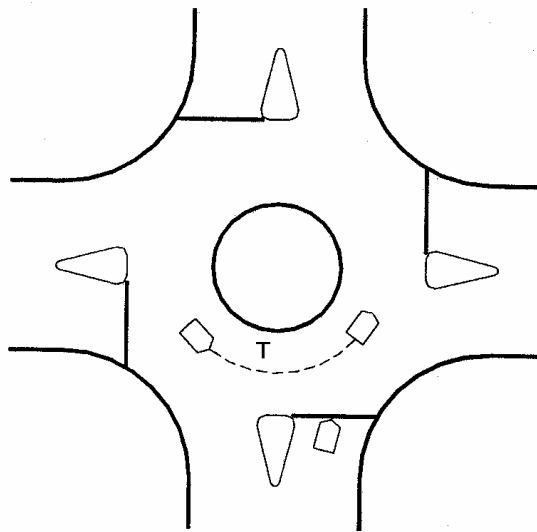
Bazı araştırmacılar, sürücülerin aynı kavşakta farklı davranışlarda bulduklarını da öne sürmektedirler (Gedizlioğlu 1979a) (Hagring, 1996a,1998) (Lassarre ve Lejeune,1991) (Fricker, ve diğ., 1991). Bazı araştırmacılar ise, kavşağı sık kullanan sürücülerin, edindikleri birtakım alışkanlıklar sonucunda daha küçük aralıkları kabul ettiklerini belirtmektedirler (Fricker, ve diğ. 1991). Ancak özellikle ikincisi, gözlemlenmesi çok güç olduğundan kesinlik kazanmamıştır.

Sürücüler arasındaki davranış farklılığı, aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

- Eğer bir sürücü hep aynı aralığı kabul ediyorsa bu sürücünün davranışı tutarlı olarak tanımlanabilir. Aksi takdirde, tutarsız bir sürücü olarak tanımlanır.
- Eğer sürücülerin seçtikleri aralık değerleri bütün sürücüler kapsayacak bir dağılıma aitse bu sürücüler homojen, eğer değilse homojen olmayan sürücüler olarak tanımlanırlar (Hagring, 1998).

Yukarıdaki açıklamalar ışığında sürücü davranışları dört şekilde modellenebilmektedir:

1. Homojen ve tutarlı: Her sürücü sabit bir aralık kabulüne sahiptir.
2. Homojen ve tutarsız: Sürücü, durma çizgisine her geldiğinde, dağılıma ait farklı bir aralık değeri seçmektedir
3. Homojen olmayan ve tutarlı: Her sürücünün kabul ettiği sabit bir aralık değeri vardır fakat bu aralık değerlerinin dağılımı bir sürücü grubu için ifade edilmektedir.
4. Homojen olmayan ve tutarsız: Sürücülerin tutarsızlığına bağlı olarak, her sürücü veya bir grup sürücü, ayrı bir kritik aralık dağılımına sahiptirler (Hagring, 1998).



Şekil 4.1 Kritik Aralık Kabulü (Hagring, 1996a)

Yapılan çalışmalar, homojen olmayan ve tutarsız sürücü davranışının, gerçek olayları daha iyi karakterize ettiğini göstermiştir. Ancak bu tip sürücü davranışlarının modellenmesi çok güçtür. Bu yüzden yapılmış olan çalışmalarda sürücülerin, homojen ve tutarlı oldukları kabul edilmiştir.

4.2.2 Yöntemin Dayandığı Temeller

Kritik aralık değeri, genel aralık kabulü fonksiyonuyla tanımlanabilir: (Hagring, 1996a, 1998)

$$G(h) = P(\text{ herhangi bir sürücünün kabul edeceği aralık } \geq h)$$

Normal şartlarda $G(h)$ dağılımının ortalaması veya medyanı, kritik aralık değeri olarak kabul edilmektedir. Her ne kadar sürücü davranışı homojen olmayan ve tutarsız olarak kabul edilse de burada sürücü davranışının homojen ve tutarlı olduğu göz önüne alınarak yapılmaktadır (Hagring, 1998). Bu kabule göre, belirli bir “T” değerinden kısa anayol aralıklarında hiçbir yanyol sürücüsü kavşağa girmeyecek, daha uzun aralıklarda ise yanyol sürücülerinin tümü kavşağa girecekleridir (Gedizlioğlu 1979a). Buna göre sonuç basamak fonksiyonu (step-function) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

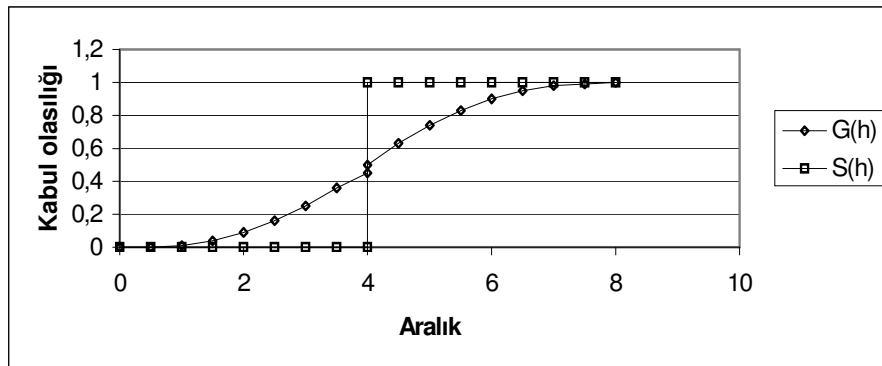
$$S(h) = \theta(h-T) \tag{4.2}$$

Burada

$$\theta(x) = 0 \text{ eğer } x < t$$

$$= 1 \text{ eğer } x > t$$

$T = G(h)$ 'in ortalaması veya medyanıdır.



Şekil 4.2 Aralık Kabulü Fonksiyonları

Karar verme durumunda dikkate alınması gereken nokta, $G(h)$ 'in " h " değerinin bir ön giriş aralığı mı yoksa araya giriş aralığını mı belirttiğidir. Bu durumla seçilen aralığın kritik araya giriş aralığı (T_g) veya kritik önegiriş aralığı (T_l) olup olmadığının belirlenmesinde de karşılaşılmaktadır. Bu karışıklığın önlenmesi amacıyla kritik önegiriş aralığı ve araya giriş aralıklarının birbirlerine eşit olduğu kabul edilmiştir.

Kavşağa, oluşan bir aralıkta girebilecek araç sayısı, aralığın büyüklüğüne ve yan koldan giren araçların takip aralıklarına bağlıdır. Eğer tali akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerinin sabit olduğu kabul edilirse, model aşağıdaki şekilde basite indirgenebilir:

$$T(n) = T + (n - 1) \cdot T_o \quad (4.3)$$

Burada

$T(n)$ = Sadece ve sadece " n " sayıda tali akımdaki aracın girebileceği kadar büyük

aralık değeri

T_o = Takip aralığıdır.

Böylece "h" aralığında kavşağa girebilecek araç sayısı (N_h) aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$N_h = [1 + (h - T)/T_o] \quad (4.4)$$

4.2.3 Kritik Aralık Değerinin Belirlenmesi

Hewitt, kritik aralık değerinin belirlenmesinde üç güçlkle karşılaştığını belirtmiştir:

1. Kritik aralık değeri doğrudan ölçülemez; ancak kabul edilen ve reddedilen aralık değerleri belirlenebilir.
2. Uzun aralık değerlerinin kabul eden sürücülerin oranının gerçek değerinden daha yüksek tahmin edilmesi, karşılaşılan diğer bir sorundur. Belli bir aralık değerini seçen sürücülerin oranı ile, bu değerden daha küçük aralıkları seçen sürücülerin oranları, birbirinin aynısı değildir. Bu, eğer dikkat edilmezse, hesaplamalarda problem çıkartabilir.
3. Üçüncü önemli faktör ise, ana akımdaki araçlar arasındaki aralıkların dağılımına bağlı olmasıdır. Bu dağılımlar sağa çarpık olduklarından, küçük aralıklar daha sık görüleceklerdir. Bu da küçük aralık kabulü değerleri için daha sağlıklı gözlemler yapılabilecekken; uzun kabul aralığına sahip sürücülere ait gözlem verilerinin yetersiz olabileceği sonucunu doğurmaktadır (Hagring, 1996a).

Kapasite analizlerinde incelenmesi gereken iki önemli parametre vardır:

1. Kritik aralık değeri (T)
2. Takip aralığı (T_o)

Her iki değerin bulunmasında da iki farklı yöntem kullanılabilir:

1. Regresyon analizi
2. Takip ve kritik aralıkların dağılımlarının belirlenmesi.

Seigloch, yan yolda sürekli kuyruk bulunması durumunda kritik aralık değerinin hesaplanabileceğini öne sürmüştür (Troutbeck ve Brilon, 1995). Bu yöntemin uygulanabilmesi için, yan yolda sürekli olarak en az bir araç bulunması gerekmektedir. Yöntem şu şekilde tanımlanabilir:

Aralığın genişliği " t " ve bu aralıkta kavşağa giren araç sayısı " n " kaydedilir.

Sadece " n " sayıda sürücü tarafından kabul edilen aralıklar için ortalama aralık değeri " $E(t)$ " hesaplanır.

Ortalama aralık değeri bağımlı değişken olarak kabul edilerek; bu aralıklarda kavşağa giren araç sayısı ile aralarında doğrusal regresyon yapılır.

Doğrunun eğimi " T_o ", aralık eksenini kestiği nokta " t_o " olarak kabul edilirse; kritik aralık değeri " T ", aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir (Troutbeck ve Brilon, 1995):

$$T = t_o + \frac{T_o}{2} \quad (4.5)$$

Ancak yan yolda her zaman kuyruk görülmeyebilir. Bu durumda kritik aralık değeri, takip ve aralık kabulü değerlerinin dağılımlarının bulunması suretiyle hesaplanabilir.

Yan yolda bulunan bir sürücü, bir tek giriş aralığı kabul edecek ve kavşağa girecektir. Fakat aynı sürücü, birden fazla aralığı da reddedebilir. Bu durumda, reddedilen aralıkların en büyüğünün dikkate alınması uygun olacaktır (Gedizlioğlu 1979a) (Troutbeck ve Brilon, 1995) (Hagring, 1996a).

Yapılan çalışmalar, Maksimum Olabilirlik Yönteminin kritik aralık değerinin belirlenmesinde uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir (Troutbeck ve Brilon, 1995) (Hagring, 1996a). Bu yöntem, kullanıcının kritik aralık değerleri için bir dağılım kabul etmesini gerektirmektedir. Log-Normal dağılım, bunun için oldukça uygun bir dağılım olarak kabul edilmektedir.

Kritik aralığın hesaplanması amacıyla pratik yöntemler de önerilmiştir. Bunlara örnek olarak Miller' in kritik aralık bağıntısı gösterilebilir:

$$T = \mu + \frac{1}{2} \sigma^2 \frac{f'(\mu)}{f(\mu)} \quad (4.6)$$

Burada $f(x)$, giriş aralıklarının olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Eğer giriş aralıkları negatif üssel dağılımda ise:

$$T = \mu - \frac{1}{2} q_c \sigma^2 \quad (4.7)$$

bağıntısı bulunabilir (Gedizlioğlu 1979a).

Ashworth, kritik aralık değerlerinin uyduğu dağılımın bilinmesi halinde, kritik aralık değerinin aşağıda verilen bağıntıdan hesaplanabileceğini öne sürmüştür:

$$E(T) = E(t_a) + q_c Var(t_a) \quad (4.8)$$

Burada

$E(t_a)$ = Kritik aralık değerlerinin uyduğu dağılımın ortalaması;

$Var(t_a)$ = Kritik aralık değerlerinin uyduğu dağılımın varyansı;

q_c = Ana akım değeri (araç/saniye) dir (Troutbeck ve Brilon, 1995).

Araştırmacılar, yol geometrisi veya ana akıma bağlı olarak kritik aralık kabulü değeri için yeni bağıntılar geliştirmeye çalışmışlardır. Troutbeck (1991), kavşak yaklaşımındaki şeritleri ayrı ayrı inceleyerek takip aralığı T_o ve kritik aralık değerlerini hesaplama yoluna gitmiştir. Kavşak içindeki veya kavşak yaklaşımındaki şeritlerde bulunan trafik akımı değerlerinin eşit olması, sık karşılaşılmayan bir durumdur. Şeritlerden biri, diğerlerine oranla daha fazla araç tarafından kullanılacaktır. Troutbeck, bu durumu göz önünde bulundurarak, en fazla trafik akımını geçiren şeridi "baskın" şerit olarak tanımlamış ve bu şeritteki takip aralığını öncelikle hesaplayarak; diğer şeritlerdeki takip aralıklarını ve kritik aralık kabulü değerlerini bulmayı amaçlamıştır.

Baskın şeritteki takip aralığı değeri (T_{odom}), aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$T_{odom} = 3,37 - 0,000394 \cdot Q_c - 0,0208 \cdot D_i + 0,0000889 \cdot D_i^2 - 0,395 \cdot n_e + 0,3 \quad (4.9)$$

Burada

Q_c = dönen akım (araç/sa);

D_i = Dıştan dışa çap ;

n_e = giriş şeridi sayısı;

n_c = dönüş şeridi sayısıdır.

Diğer şeritlerdeki takip aralığı değerleri (T_{osub}) ise, aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$T_{osub} = 2,149 + 0,5135T_{odom} \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} - 0,8735 \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} \quad (4.)$$

Burada

Q_{dom} = Baskın şeritteki akım (araç/saat);

Q_{sub} = Diğer şeritteki akım (araç/saat) dır.

Troutbeck (1991), kritik aralık değerinin takip aralığı değerine (T_o), dönen akıma (Q_c), dönüş şeridi sayısına (n_c) ve ortalama giriş şeridi genişliğine (w_e) bağlı olduğunu öne sürmüştür. Buna göre her şeride ait kritik aralık kabulü değeri, aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$\frac{T}{T_o} = 3,6135 - 0,0003137 \cdot Q_c - 0,3390 \cdot w_e - 0,2775 \cdot n_c \quad (4.11)$$

Akçelik (1998), dönel kavşaklar için Troutbeck'in bulduğu kritik aralık kabulü bağıntılarını kabul etmiş, ancak 4.11 bağıntısının dönen akım 1200 araç/saat'e eşit veya daha küçük olması durumunda geçerli olabileceğini belirtmiştir. Daha yüksek dönüş hacimleri için, aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$T = (3,2371 - 0,339 \cdot w_e - 0,2775 \cdot n_c) T_o \quad (4.12)$$

İsveç kapasite analiz yöntemi olan CAPCAL'da (Statens, 1995) da aynı şekilde her şerit ayrı ayrı incelenerek; kritik aralık değerinin hesaplanması yoluna gidilmeye çalışılmıştır. Troutbeck'in yönteminden farklı olarak, kritik aralık kabulü değerinin belirlenmesindeki etkin parametreler, örülme boyunu (L) ve örülme alanının genişliğidir (w_w). Bir diğer farklılık, her şeritteki manevralar (sağa veya sola dönüş veya doğru geçiş) için ayrı kritik aralık kabulü değerleri bulunmaya çalışılmaktadır:

Sağa dönen araçlar için:

$$T = 3,06 + 1,1 \frac{w_w}{L} + 2,375 \left(\frac{w_w}{L} \right)^2 \quad (4.13a)$$

Sola dönen ve doğru geçen araçlar için:

$$T = 3,06 + 2,6 \frac{w_w}{L} + 2,75 \left(\frac{w_w}{L} \right)^2 \quad (4.13b)$$

Burada

L = Örüme alanı boyu;

w_w = Örüme alanı genişliğidir.

Hagring (1996a), kritik aralık kabulü değerinin belirlenmesinde CAPCAL' la aynı parametreleri kullanmış fakat farklı olarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$T = 3,91 - 0,0278L + 0,121w_w + 0,592(N_L - 1) \quad (4.14)$$

Burada " N_L ", incelenen şeride bağlı bir parametre (sağ şerit için "0", sol şerit için "1") dir.

4.2.4 Tek Şeritli Dönel Kavşakların Kapasitesinin Belirlenmesi

Kavşağa bağlanan bir yan yolda sürekli kuyruk olduğu kabul edilsin. Ana akımdaki araçlar arasındaki aralığın " T " 'den daha kısa olması durumunda hiçbir aracın kavşağa giremediğini; ana akımdaki araçlar arasındaki aralığın " T " ile " $2T$ " arasında olması durumunda 1 aracın; " $2T$ " ile " $3T$ " arasında olması durumunda 2 aracın v.b. kavşağa girebildiği düşünülün. Bu durum, Major ve Buckley 'in de belirttiği gibi, ana akımdaki araçların tamamen rasgele gelmesi durumunda, yani anayoldaki araçların arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin "negatif üssel dağılıma" uyması durumunda Tablo 4.1' de gösterildiği gibi gerçekleşecektir.

Tablo 4.1 Major ve Buckley 'e göre Kavşağa Girebilecek Araç Sayıları ve Bağıntıları (Gerlough ve Huber, 1975)

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

Bir kavşağa girebilecek araç sayısı, bu değerlerin toplamıdır (Gerlough & Huber, 1975):

$$q_e = q_c(e^{-q_c T} - e^{-2q_c T}) + 2q_c(e^{-2q_c T} - e^{-3q_c T}) + 3q_c(e^{-3q_c T} - e^{-4q_c T}) + \dots \quad (4.15a)$$

$$q_e = q_c e^{-q_c T} + q_c e^{-2q_c T} + q_c e^{-3q_c T} + \dots \quad (4.15b.)$$

Burada

$$q_e = \text{Kavşağa girebilecek araç sayısı (araç/san)}$$

q_c = kavşak içinde dönen araç sayısı (araç/san) dır.

Bu bir geometrik seridir (Granville, v.d., 1959). O halde;

$$q_e = \frac{q_c e^{-q_c T}}{1 - e^{-q_c T}} \quad (4.15)$$

yazılabilir. Daha gerçekçi bir çözüm ise, yanyoldaki araçlar eğer birbirlerini " T_o " gibi bir aralıkla takip ediyorlarsa; iki araç " $T+2T_o$ " gibi bir aralığa, üç araç " $T+3T_o$ " gibi bir aralığa gerek duyarlar. Bu durumda bağıntı:

$$q_e = \frac{q_c e^{-q_c T_o}}{1 - e^{-q_c T_o}} \quad (4.16)$$

olarak yazılabilir (Gerlough ve Huber, 1975). Bu bağıntı HCM (Highway Capacity Manual) 'da dönel kavşakların kapasitesinin hesaplanması için verilen bağıntının aynısıdır (Akçelik, 1998) (Flannery, v.d., 1998).

Bu bağıntı, anayol akımındaki araçlar arasında herhangi bir gruplaşma olmaması durumunda geçerli kabul edilebilir. Halbuki gruplaşma olmaması, özellikle yüksek akım değerlerinde gerçekçi değildir. Araçlar arasındaki gruplaşmayı da içeren bir bağıntının bulunması daha gerçekçi sonuçlar verebilir. Bu amaçla negatif üssel dağılım yerine "Cowan M3" dağılımı kullanılırsa Tablo 4.1, Tablo 4.2' de görüldüğü şekilde yeniden düzenlenebilir.

Tablo 4.6 Cowan M3 Dağılımı Kullanılması Durumunda Kavşağa Girebilecek Araç Sayıları ve Bağıntıları

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

Tablo 4.2' den;

$$q_e = q_c(\alpha e^{-\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)}) + 2 \cdot q_c(\alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)}) + \dots \quad (4.17a)$$

$$q_e = q_c \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)} + q_c \alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)} + q_c \alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)} + \dots \quad (4.17b)$$

yazılabilir. Bu da bir geometrik seridir. (4.16) bağıntısının bulunması sırasında yapılan kabuller aynen uygulanırsa bağıntı;

$$q_e = \frac{q_c \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (4.17)$$

şeklini alır. Bu Troutbeck 'in ve daha sonra Hagring 'in buldukları sonuçlarla aynıdır (Troutbeck, 1991)(Hagring, 1998).

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

$$q_e = q_c \int_0^{\infty} f(t) \cdot g(t) dt \quad (4.18)$$

Burada

$f(t)$ = Ana akımdaki aralıkların dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$g(t)$ = "t" aralığında yanyoldan kavşağa girebilecek araç sayısıdır (Troutbeck ve Brilon, 1995)

$g(t)$ değerinin elde edilmesi için iki farklı yöntem kabul edilebilir. Bu kabuller sonucunda ise, farklı kapasite bağıntılarının elde edilmesi mümkündür.

Seigloch, dönel kavşakların kapasite modeli olarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$q_e = \frac{\alpha \cdot q_c \cdot e^{-\lambda(T-\Delta)}}{\lambda \cdot T_o} \quad (4.19)$$

Eğer dönen akımın üssel dağılıma uyan zaman cinsinden aralıklara sahipse bağıntı:

$$q_e = \frac{e^{q_c T}}{T_o} \quad (4.20)$$

şeklini almaktadır. Ancak (4.20) bağıntısının, gerçek kapasite değerlerinden daha yüksek değerler verdiği unutulmamalıdır (Troutbeck, 1998b).

Bir yol kesitinde temel kapasiteye ulaşmak için, kuramsal olarak, yanyolda hiç tükenmeyen bir kuyruk olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda tam kapasitede çalışan kavşağa ulaşan yanyolda taşıtlar, kavşağa girmeden önce kuyrukta beklemek zorunda kalacaktır. Kuyrukta taşıtın hiç tükenmemesi için ise, yanyoldaki bu kuyruğun

sonsuz uzunlukta olması gerekir. Dolayısıyla kuyruğa giren bir taşıtın, sonsuz gecikeceği kabul edilmiş olmaktadır (Gedizlioğlu, 1979a).

Tanner (1962), yanyol taşıtları için aşağıdaki gecikme formülünü vermiştir:

$$W_e = \frac{\frac{1}{2}E(y^2)/Y + q_e Y e^{-q_e T_o} [e^{q_e T_o} - T_o q_c - 1]/q_c}{1 - q_e Y [1 - e^{-q_e T_o}]} \quad (4.21)$$

Burada W_e , kavşağa gelen araçların ortalama gecikme değeridir (saniye). Y ise,

$$Y = E(y) + 1/q_c \quad (4.21a)$$

olup

$$E(y) = \frac{e^{q_c(T-\Delta)}}{q_c(1-\Delta q_c)} - \frac{1}{q_c} \quad (4.21b)$$

şeklinde yazılabilir. $E(y)$, "y" uzunluğunda bir kuyruğun olma olasılığının ortalamasıdır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında Tanner, gecikme bağıntısında ortalama gecikmeyi sonsuz yaparak; yani bağıntının paydasını sıfıra eşitleyerek maksimum yanyol kapasitesini aşağıdaki şekilde bulmuştur (Tanner, 1962):

$$q_e = \frac{q_c(1-\Delta q_c)}{e^{q_c(T-\Delta)} [1 - e^{-q_e T_o}]} \quad (4.22)$$

SIDRA' da ise, kritik aralık kabulüne göre yanyol kapasitesinin hesabı için aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır (Akçelik, 1998):

$$q_e = \frac{1}{T_o} (1 - \Delta q_c + 0,5T_o \alpha q_c) e^{-\lambda(T-\Delta)} \quad (4.23)$$

Kritik aralık kabulü yöntemine dayanılarak geliştirilmiş diğer bir model ise, İsveç CAPCAL (Statens, 1995) modelidir. Bu modelde her şeritteki farklı hareketler (sağa veya sola dönüşlerle, doğru geçişler) ayrı ayrı incelenerek; her bir harekete ait kapasite değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerler daha sonra birleştirilmek suretiyle, yaklaşım şeridinin kapasitesi hesaplanmaktadır.

Troutbeck (1991) ve Akçelik (1998) tarafından önerilen bağıntılar, bazı özel durumlarda aşağıdaki bağıntılara dönüşürler:

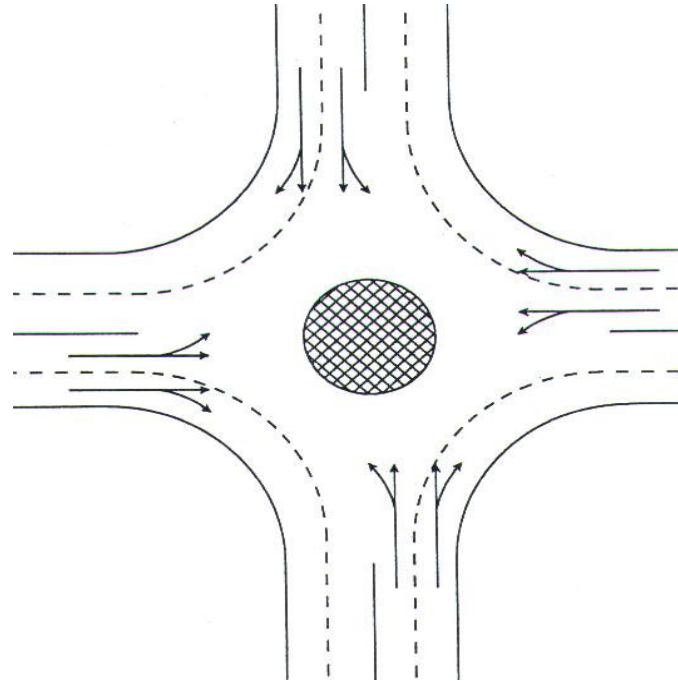
- i. *Negatif üssel dağılım modeli*: $\Delta = 0$, $\alpha = 1$ ve $\lambda = q$ olması durumunda karşılaşılr.
- ii. *Ötelenmiş negatif üssel dağılım modeli*: $\Delta =$ belirlenen bir minimum aralık değeri, $\alpha = 1$ ve $\lambda = q / (1 - \Delta q)$ olması durumunda geçerlidir.
- iii. *Tanner (1962,1967) modeli*: $\Delta =$ belirlenen bir minimum aralık değeri, $\alpha = 1 - \Delta q$ ve $\lambda = q$ olması durumunda bu bağıntı elde edilir.

4.3 Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

4.3.1 Fisk Yöntemi

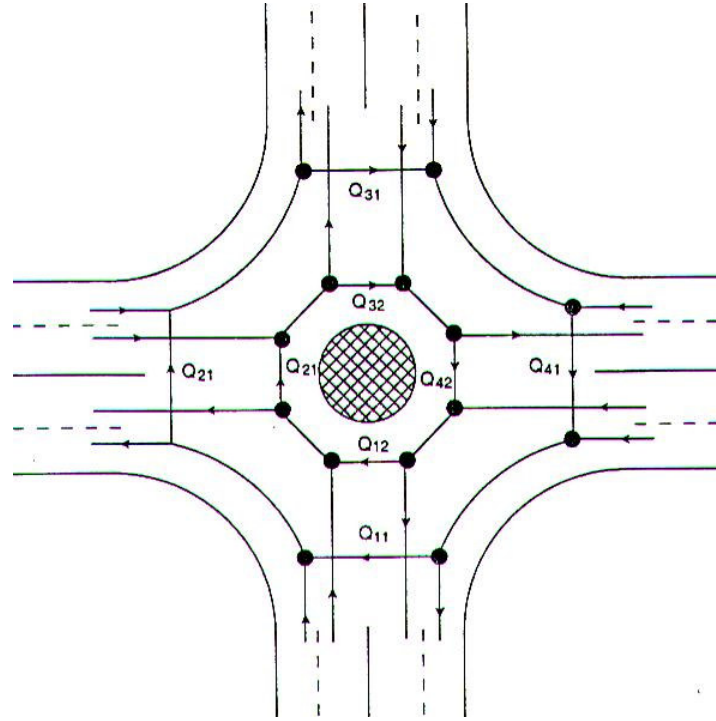
4.3.1.1 Çok Şeritli Dönel Kavşaklar

Dönel kavşaklar, bir veya daha fazla giriş kolu ve/veya dönüş bölgesinde birden fazla şeride sahip oldukları zaman, problem o-d akışının hangi giriş şeridini kullanacağını saptanmasıdır. İhtiyaç olan analizi tanımlamak amacıyla, dönme hareketlerinin şeritlere işaret edildiği gibi dağıtıldığı Şekil 4.3' de gösterilen iki şeritli dönel kavşak çalışılmıştır. Aynı yöntem; bireysel sürücülere seçimlerin bırakılması imkanların verimsiz kullanılmasına sebep olmasına rağmen, dönme akışlarının özellikli şeritlere dağıtılmadığı zamanlarda da kullanılabilir. Gerçekte bu analizin bir amacı; farklı şerit paylaşırma stratejilerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak giriş şeritlerine dönme hareket akışının en etkili dağıtımını saptamaktır.



Şekil 4.3 İki Şeritli Dönel Kavşak (Fisk, 1991)

Şekil 4.4' de işaret edildiği gibi grafik formda problem sunulmuştur. Başlangıç bilgileri olan p ve q ile toplam dönen akım önceden saptanır. Fakat bu örnekte her bir giriş şeridindeki akışlar bilinmiyordur. Var olan dönel kavşak için bu bilgiler ihtiyaç karşılayabilmiştir. Ancak gelecekteki akış örnekleri ve/veya projelendirme kademesindeki bir dönel kavşak için şerit dağılımını doğru olarak tahmin etmek zor olacaktır.



Şekil 4.4 Akışın Grafik Formda Gösterimi (Fisk, 1991)

Burada seyahat zamanının minimize edilmesi veya kuyruk uzunluklarının eşitlenmesi gibi bir davranış kabulünden şerit akış dağıtımının tahmin edilebileceği sunulmuştur.

Şerit 1 girişi Şerit 2 girişinden daha hızlı oranda servis verecektir. Böylece bu durumda kuyruk uzunluklarının eşitlenmesi şerit seçiminin iyi bir tahmincisi olamaz. Seyahat zamanının minimize edilmesi şerit seçimi için en önemli kriter gibidir ve iş seyahati gibi günlük durumlardaki imkanları kullanacak olan sürücüler bu davranışı tahmin eden kararı vereceklerdir.

Seyahat zamanının minimize edilmesi kriteri; mini-trafik tayin probleminin her bir giriş şeridine atanan direkt akışın miktarında olan değişkenlerin çözümlenmesini kapsar. P_{ijn} , n şeridi üzerindeki i ve j 'ye akışın oranı olarak tanımlanır ve f_{in} n şeridini kullanacak i girişindeki toplam giriş akışıdır.

$$f_{in} = q_i P_{ian} \quad (4.24)$$

burada; a değeri i ' ye dayanır : [(1,3) , (2,4) , (3,1) , (4,2)] . ayrıca d_{in} , giriş i, şerit n 'deki araçlara beklenen gecikmeyi işaret eder. L_{in} ' de kuyruk uzunluğudur.

Mini-tayin problemi bir kullanıcı uygun değer modeli teşkil eden f ' yi saptamayı içerir (Dafermos, 1971).

$$\begin{aligned} d_{in} = u_i &\Rightarrow f_{in} > 0 \\ d_{in} \geq u_i &\Rightarrow f_{in} = 0 \\ f_{in} \geq 0 &\Rightarrow i = 1,4; n = 1,2 \\ f_{i1} + f_{i2} = q_i P_{ia} &\Rightarrow i = 1,4 \end{aligned} \quad (4.25)$$

Burada u_i giriş için gecikme denklemdir. Değeri yukarıdaki problemin çözümünün bir parçası olarak elde edilir.

İyi bilindiği gibi, yukarıdaki problem ilk olarak Smith tarafından tanımlanmıştır. Yakın zamanda da Marcotte ve Guelat (1988) tarafından çalışılmıştır. Çözüm hem akış dağılımını (f), hem de gecikme matrisini (d) verecektir. Ayrıca f ' yi veren L tahmin edilebilir.

Basit fakat yavaşça birleşen sabit adım uzunluk metoduna (Fisk ve Nguyen, 1982) dayanan bir algoritma yukarıdaki problemi çözmek amacıyla kullanılır.

Adım 1 : f için başlangıç dağılımı f^0 kabul edilir. $k = 1$ alınır.

Adım 2 : f^k ' yı veren d bulunmasının alt problemi (sonuç d^k tarafından nitelendirilerek) çözülür.

Adım 3 : f aşağıdaki gibi ;

$$\begin{aligned}
 d_{i1}^k &< d_{i2}^k f_{i1}^k = f_{i1}^{k-1} + f_{i2}^{k-1} / k \\
 f_{i2}^k &= f_{i2}^{k-2} - f_{i2}^{k-1} / k \\
 d_{i1}^k &> d_{i2}^k f_{i1}^k = f_{i1}^{k-1} - f_{i2}^{k-1} / k \\
 f_{i2}^k &= f_{i2}^{k-1} + f_{i1}^{k-1} / k \\
 u_i^k &= \min(d_{i1}^k, d_{i2}^k)
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

$i = 1, 2.$

Adım 4 :

$$\begin{aligned}
 C^k &= \sum_{i,n} d_{in}^k f_{in}^k \\
 U^k &= \sum_{i,n} u_i^k f_{in}^k
 \end{aligned} \tag{4.27}$$

Eğer $|C^k - U^k| < \epsilon$ ise durulur. Değilse, $k = k + 1$ alınarak devam edilir. ϵ , önceden tanımlanan birbirine yaklaşma parametresidir.

Adım 2 ' deki alt problem şerit tarafından bütün giriş akışları iyi olarak tanımlandığında gecikmeyi saptamayı içerir. Bu problem şimdi gösterildiği gibi önceki bölümdeki analizin genişlemesidir. Notasyonel uygunluk için k üst işareti atılacaktır, fakat bütün akış değişkenleri d , e ve μ' de görülecektir.

Giriş i , şerit n için ($i = 1, 2, 3, 4$; $n = 1, 2$) ilk olarak servis oranları tahmin edilir. Daha sonra bunlar gecikme formül analogunda d üretmek amacıyla yerine konur.

$$\begin{aligned}
 \mu_{i1} &= Q_{i1} (1 - \beta_1 Q_{i1}) / e^{Q_{i1}(\tau - \beta_1)} (1 - e^{-Q_{i1}\beta_2}) \\
 \mu_{i2} &= Q_{i1} (1 - \beta_1 Q_{i1}) (1 - \beta_1 Q_{i2}) / e^{Q_{i1}(\tau - \beta_1)} (1 - e^{-Q_{i1}\beta_2}) \\
 Q_i &= Q_{i1} + Q_{i2} \Rightarrow i = 1, \dots, 4.
 \end{aligned} \tag{4.28}$$

Bu formüllerde ima edilen hangi akışların ayrılığa girdiğinin kabulleridir ve özel uygulamalar için bunlar daha fazla modifikasyonlara ihtiyaç duyabilir. Örnek olarak Şekil 5.5 referans alınarak eğer şerit dışındaki direkt trafik ve bir önceki giriş kolundan şerit içindeki direkt trafik arasındaki etkileşimler katılsaydı model daha gerçekçi olabilirdi. Bu Fisk ve Tan (1989) deki analizin takibine bağlı olarak Denklem 4.28' in geliştirilmesi ile modellenabilir.

Gelişmeleri kapsamak amacıyla sonuçları da genişletmek olasıdır. Bir iç ve bir dış dönüş şeritleri için bu beklenebilir. Çünkü iç şeritteki trafik dış şerittekine göre kıyaslanarak daha yavaş hızda ilerleme eğiliminde olacaktır. Q elde edilmesi için formüller bir önceki bölümde verilenlerin genişletilmesidir.

$$\begin{aligned}
Q_{11} &= P_{421}e_{41} \\
Q_{12} &= (P_{422} + P_{43})e_{42} + P_{32}e_{32} \\
Q_{21} &= P_{131}e_{11} \\
Q_{22} &= (P_{132} + P_{14})e_{12} + P_{43}e_{42} \\
Q_{31} &= P_{241}e_{21} \\
Q_{32} &= (P_{242} + P_{21})e_{22} + P_{14}e_{12} \\
Q_{41} &= P_{311}e_{31} \\
Q_{42} &= (P_{312} + P_{32})e_{32} + P_{21}e_{22}
\end{aligned} \tag{4.29}$$

Eğer geliş akışı şerit kapasitesinin altında ise yayılma oranı e_{in} geliş oranına eşittir ve diğer taraftan μ_{in} 'e eşittir. λ_{in} , giriş i, şerit n için geliş oranı olarak tanımlanmıştır.

$$e_{in} = \begin{cases} \lambda_{in} \Rightarrow \lambda_{in} < \mu_{in} \\ \mu_{in} \end{cases} \tag{4.30}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_{in} &= q_i P_{ib} + f_{in} = q_i P_{ib} + q_i P_{ian} \\
i &= 1, \dots, 4; n = 1, 2
\end{aligned} \tag{4.31}$$

Burada eğer $n = 1$ ise b ; (1,2,3,4) devrinde i 'den sonraki rakam ve eğer $n = 2$ ise; devirde bir önceki rakam olarak saptanır.

Denklem 4.28 ve 4.29 yukarıda verilen Q , e ve λ ile μ ' deki denklemlerin bir nonlineer sistemini tanımlar. Bunlar sekiz adıma ihtiyaç duyan bir iterasyon ile açık durumda sekiz bağımsız değişkene bir önceki bölümde tanımlanan Gauss – Seidel prosedürünün genişletilmesiyle çözülebilir. Bu prosedürün birleşimini takip eden formüller d ' nin elde edildiği μ için istenilen değerleri verir.

$$d_{in} = d_{qin} + 1 / \mu_{in} \quad (4.32)$$

Burada d_{qin} aşağıdaki formül ile verilen n , giriş i ' deki gecikmenin kuyruk elemanıdır.

$$d_{qin} = \{-(2 + \mu_{in}t - \rho_{in}\mu_{in}t) + [(2 + \mu_{in}t - \rho_{in}\mu_{in}t)^2 + 8\mu_{in}\rho_{in}t]^{1/2}\} / 4\mu_{in} \quad (4.33)$$

$$\rho_{in} = \lambda_{in} / \mu_{in}$$

Yukarıdaki analiz kullanıcı uygun değer tayin algoritmasının her bir iterasyonunda d için değerler üretir. Algoritmanın son iterasyonu μ ve d için denklik değerlerini birleşimin istenilen kademesine verecektir.

Her bir μ için beklenen kuyruk uzunlukları ise aşağıdaki formülden elde edilir.

$$L_{in} = \{-\mu_{in}t(1 - \rho_{in}) + [\{\mu_{in}t(1 - \rho_{in})\}^2 + 4(\rho_{in}\mu_{in}t + 1)]^{1/2}\} / 2 \quad (4.34)$$

4.3.1.2 Ağır Araç Etkisi

Geniş araçlar akımda yolcu aracı denklemleri ile sunulmuştur. Gecikmeler ve diğer performans karakteristikleri yolcu araçları için kalibre edilmiş bir modelden elde edilir. Bu tahminin bazı eksiklikleri Fisk (1989b) de belirtilmiştir. Hatanın ana kaynağının bir miktar aracın ağır araç ile yer değiştirmesinin aralıkların hem sayısını hem de süresini öncelikli trafikte saptırmasıdır (ortalamada daha kısa süreli daha çok aralıklar olacaktır) ve aralıkların sayısı öncelikli olmayan trafik tarafından belirlenir. Gecikmeler, daha yüksek akış oranlarında daha fazla tahmin edilebilme eğiliminde olacaktır.

Fisk (1989b) de her bir sınıfın β_1 , β_2 ve T parametrelerinin belirgin değerleri ile sunulan araçların iki sınıfını açıkça birleştiren bir model ortaya çıkarır. Bu analizi dönele kavşak probleminde uyarlanır.

p_c ve p_t sırasıyla araçların ve kamyonların şeritlerdeki oranlarıdır. Fisk (1989b) den sırası ile μ_{ic} ve μ_{it} servis oranları aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$\mu_{ic} = \frac{Q_i \{1 - Q_i (p_c \beta_{ic} + p_t \beta_{it})\} \{p_c e^{-Q_i(\tau_c - \beta_{ic})} + p_t e^{-Q_i(\tau_c - \beta_{it})}\}}{1 - e^{-Q_i \beta_{2i}}} \quad (4.35)$$

Burada sırası ile c ve t alt indisleri araç ve kamyon değerlerini simgeler. İ girişi için ortalama servis zamanı $1 / \mu_i$ aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$1 / \mu_i = p_c / \mu_{ic} + p_t / \mu_{it} \quad (4.36)$$

Doygunluğa ulaşıldığında ise (Gross ve Harris, 1974)

$$\rho_i = q_{ic} / \mu_{ic} + q_{it} / \mu_{it} = 1 \quad (4.37)$$

$q_i = q_{ic} + q_{it}$ ve $q_i < \rho_i$ için dönen akış içindeki çıkış oranı q_i dir. $q_i \geq \rho_i$ için çıkış oranı μ_i dir. Böyle ki tekil sınıf durumları ile ilgili olarak;

$$e_i = \begin{cases} q_i & \leftarrow \rho_i < 1 \\ \mu_i & \leftarrow \rho_i \geq 1 \end{cases} \quad (4.38)$$

μ ' nün tahmini esas itibariyle tekil sınıf durumu ile ilgili zaman adımlarını içerir. Önce μ, μ_c, μ_t saptanır, gecikmeler ve kuyruk uzunlukları Fisk ve Tan (1989) ve Fisk (1989b) den alınan takip eden formül ile tahmin edilebilir. Burada d_{ic} ve d_{it} , L_i bütün sınıfları içeren kuyruk uzunluğu iken sırası ile i girişindeki beklenen araç ve kamyon gecikmeleridir. Ayrıca d_{qi} kuyrukta öndeki araç olmak için zaman beklemesidir.

$$d_{ic} = d_{qi} + 1 / \mu_{ic} \quad (4.39)$$

$$d_{it} = d_{qi} + 1 / \mu_{it} \quad (4.40)$$

$$d_{qi} = [-v + (v^2 - 4uw)^{1/2}] / 2u \quad (4.41)$$

$$u = 2\mu_{ic}\mu_{it}(1+a) \quad (4.42)$$

$$v = \mu_{ic}\mu_{it}t(1+a) + 2\sigma - \rho_it\mu_c\mu_t(1+a)^2 \quad (4.43)$$

$$w = -\rho_it(1+a)\sigma \quad (4.44)$$

$$\sigma = \mu_{ic} + a\mu_{it} \quad (4.45)$$

$$a = \rho_c / \rho_t \quad (4.46)$$

$$\rho_c = q_{ic} / \mu_{ic} \quad (4.47)$$

$$\rho_i = q_{it} / \mu_{it} \quad (4.48)$$

Ayrıca

$$L_i = [-V - (V^2 - 4UW)^{1/2}] / 2U \quad (4.49)$$

$$U = \alpha^2 - \alpha\beta \quad (4.50)$$

$$V = -2\alpha^2 + \beta\rho_i - 1/ab - 2\alpha\rho_i \quad (4.51)$$

$$W = \alpha^2 + \rho_i^2 + \alpha\beta + \beta\rho_i + 2\alpha\rho_i \quad (4.52)$$

$$\alpha = 1/[a\mu_{ic} + \mu_{it}]t \quad (4.53)$$

$$\beta = (1+a)/a/b \quad (4.54)$$

4.4 Gecikme

Bir kavşağın performansının belirlenmesinde dikkate alınabilecek en önemli parametrelerden biri de gecikmedir. Bir kavşağın hizmet seviyesi, araç başına ortalama gecikmeye göre tanımlanabilir. Gecikme, referans alınan değere göre ulaşımda değerinden fazla tüketilen zamanı gösterir. Yolu kullananların performansına göre ölçülendirilir. Ayrıca gecikme, bir otoyolun ekonomik analizinde en temel parametredir.

Gecikmeler iki ana başlık altında incelenebilir:

1. Geometrik gecikme.
2. Trafik koşullarına bağlı gecikmeler.

Kavşağa yaklaşan araçlar, dönel kavşağa girmek için geometrik elemanlar sebebiyle yavaşlayacaklar; kavşak içindeki ada etrafında dönerken normalden daha uzun mesafe kat edecekler ve kavşaktan çıkarken tekrar eski hızlarına dönerek kavşağı terk edeceklerdir. Bu manevralar sırasında ise, kavşakta daha uzun bir süre kalmaları gerekecektir. Bu uzun süre, geometrik gecikme olarak adlandırılabilir.

Trafik koşullarına bağlı gecikmeler ise, yan yoldan kavşağa girmek isteyen araçların, kavşağa girmek için bekledikleri ortalama süre olarak tanımlanabilir.

Tanner (1962), yanyol taşıtlarının ortalama gecikmeleri için, aşağıdaki bağıntıyı önerdiği daha önce belirtilmiştir:

$$W_e = \frac{\frac{1}{2} E(y^2) / Y + q_e Y e^{(-q_c T_o)} [e^{q_c T_o} - T_o q_c - 1] / q_c}{1 - q_e Y (1 - e^{-T_o q_c})} \quad (4.55)$$

Burada yer alan E(y) ve Y değerleri, bağıntı 4.58a ve 4.58b'den bulunabilirler. E(y²) için ise, şu bağıntı önerilmiştir:

$$E(y^2) = \frac{2e^{q_c(T-\Delta)}}{q_c^2(1-\Delta q_c)^2} \left[\frac{e^{q_c(T-\Delta)} - T q_c(1-\Delta q_c) - 1 + \Delta q_c - \Delta^2 q_c^2}{2} + \frac{\Delta^2 q_c^2}{1-\Delta q_c} \right] \quad (4.56)$$

Bu bağıntı, yanyoldaki taşıt sayısının gecikme üzerindeki etkisini belirtmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Buna benzer kabullerle elde edilmiş başka bağıntılar da bulunmaktadır. Örneğin Troutbeck, ortalama gecikmeyi daha önceki çalışmalarında aşağıdaki bağıntıyla tanımlamıştır (Akçelik ve Chung, 1994):

$$W_e = w_m + 900\$ \left[(\rho - 1) + \sqrt{(\rho - 1)^2 + \frac{8k^* \rho}{Q_e \$}} \right] \quad (4.57)$$

Burada

w_m = yanyol akımında görülen minimum gecikme;

ξ = analiz süresi (saat);

ρ = doyunluk derecesi (akım/kapasite);

k^* = gecikme parametresi;

Q_e = yanyoldan girebilecek maksimum akım (araç/saat) dir.

Yukarıda verilen gecikme parametresi " k^* " ise şu bağıntı yardımıyla hesaplanabilir:

$$k^* = \frac{w_m Q_e}{3600} \quad (4.58)$$

Çelik (1987), yaptığı çalışmalar sonucunda, çok düşük trafik akımlarında zaman faktörünün gecikme üzerinde hiçbir etkisinin bulunmadığını; talep akımı kapasiteye yaklaştıkça sistemin istatistiksel denge içinde olma özelliğini yitirdiğini; dolayısıyla zaman faktörünün kendisini göstermeye başladığını ve kapasite aşıldıktan sonra ise zamanın, gecikmeyi doğrudan doğruya etkilediğini gözlemlemiştir. Özellikle kapasitenin aşılması durumunda Tanner'ın (1962) gecikme formülünün iyi sonuçlar vermediğini göz önünde tutarak, yeni bir gecikme formülü önermiştir. Bu amaçla, hazırlanmış olduğu simülasyon programından elde ettiği verileri kullanmıştır. Önerilen bağıntı, şu şekilde yazılabilir:

$$W_e = (Tq_c)^2 e^{(1+0.23\Delta^2+0.65\rho^2 \log z)} \quad \rho \leq 1.1 \quad (4.59a)$$

$$W_e = W_{e(1.1)} + 0.41z(\rho - 1.1) \quad \rho > 1.1 \quad (4.59b)$$

Burada $W_{e(1.1)}$, (4.59a) bağıntısından bulunan gecikme değeri; "z" ise saniye cinsinden inceleme süresidir.

Bugün önerilen gecikme bağıntılarından en çok kullanılanı, M/G/1 kuyruk modeli baz olarak alınan ve Pollaczek-Khintchine bağıntısı olarak da bilinen aşağıdaki bağıntıdır:

$$w_q = \frac{\rho w_{\min}(1 + C_w^2)}{2(1 - \rho)} \quad (4.60a)$$

Burada

w_q = yanyolda birinci aracın arkasında sıralanmış olan araçların ortalama gecikmesi

(san.);

C_w = servis sürelerinin dağılım katsayısıdır ve şu bağıntıyla bulunabilir:

$$C_w = \frac{\sqrt{\text{var}(w_m)}}{w_m} \quad (4.60b)$$

Burada ise $\text{var}(w_{\min})$, servis sürelerinin varyansıdır. Yan yoldaki araçların ortalama gecikmesi ise, 4.60 bağıntısından yararlanarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$W_e = w_q + w_m \quad (4.61)$$

Troutbeck (1991), genel bir gecikme modeli olarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$W_e = w_m \left(1 + \frac{\varepsilon \rho}{1 - \rho}\right) \quad (4.62)$$

Burada " ε " bir katsayı olup aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanabilir:

$$\varepsilon = \frac{e^{\lambda T_0} - q_c T - 1 + q_c (e^{q_c T_0} - 1) w_m}{q_c (e^{q_c T_0} - 1) w_m} \quad (4.63)$$

" ε " genelde, 1 olarak alınabilir.

Troutbeck sonraki çalışmalarında, Pollaczek-Khintchine bağıntısının özel bir halinin kullanılmasını önermiştir (Troutbeck, 1998b):

$$W_e = \frac{1}{q_e} \left(1 + \frac{C_s \rho}{\rho} \right) \quad (4.64)$$

Burada

$$C_s = \frac{1 + C_w^2}{2} \quad (4.65)$$

şeklinde hesaplanabilir. C_w^2 , düzenli servis süreleri için "0", rasgele servis süreleri için "1" alınabilir (Troutbeck ve Brilon, 1995).

Drew (1968), anayoldaki aralıkların Erlang dağılımına uyduğunu kabul etmiş ve buna bağlı olarak, "n" sayıda aralık bekleyen yanyol sürücülerinin gecikme dağılımının ortalamasını;

$$W_e = \frac{e^{-Kq_c T} - \sum_{i=0}^{K-1} \frac{(Kq_c T)^i}{i!}}{q_c \sum_{i=0}^{K-1} \frac{(Kq_c T)^i}{i!}} \quad (4.66)$$

olarak vermiştir. Burada "K", Erlang sayısıdır. Eğer K=1 olarak alınırsa bağıntı,

$$W_e = \frac{(e^{-q_c T} - 1 - q_c T)}{q_c} \quad (4.67)$$

şeklini alır ki; bu Ashworth' un bulduğu gecikme bağıntısının aynısıdır (Gedizlioğlu, 1979a). Yukarıdaki iki bağıntı incelendiğinde, yanyolda bulunan taşıt sayısının dikkate alınmadığı görülmektedir. Bu da özellikle bağıntı 4.67' nin, "ortalama minimum gecikme" veya ""servis gecikmesi" değerini verdiğini göstermektedir.

Servis gecikmesi, yanyol taşıtlarının birbirlerinden bağımsız; diğer bir deyişle birbirlerinin hareketini engellememeleri durumunda karşılaşılan gecikme değeridir. Bu, yanyoldaki akımın hacminin çok düşük olduğu durumlarda görülür. Bu da yukarıdaki bağıntılarda kullanılan minimum gecikme değeri ile aynıdır ($\bar{w}_e = w_m$).

Tanner (1962), yanyolda hiç kuyruk bulunmaması, yani $q_e=0$ ve $T_0=0$ olması durumu için minimum gecikme değerini aşağıdaki bağıntıyla tanımlamıştır:

$$w_m = \frac{e^{q_c(T-\Delta)}}{q_c(1-\Delta q_c)} - T - \frac{1-\Delta q_c + \Delta^2 q_c^2}{q_c(1-\Delta q_c)} + \frac{(1/2)\Delta^2 q_c}{(1-\Delta q_c)^2} \quad (4.68)$$

Troutbeck (1991), minimum gecikme değeri için, aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$w_m = \frac{e^{\lambda(T-\Delta)}}{\alpha q_c} - T - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda\Delta^2 - 2\Delta + 2\Delta\alpha}{2(\lambda\Delta + \alpha)} \quad (4.69)$$

Bu bağıntı incelendiğinde, Tanner'ın bağıntısına oldukça benzediği görülmektedir. Aradaki farklılık, Tanner'ın negatif üssel dağılım, Troutbeck'in ise Cowan M3 dağılımı kullanmasından kaynaklanmaktadır.

Akçelik (1998), Troutbeck'in minimum gecikme bağıntısının yanı sıra, sinyalizasyon ile ilgili çalışmalarına dayanan şu bağıntıyı önermektedir:

$$w_m = (1 - T_0 q_e) \left(\frac{e^{\lambda(T-\Delta)}}{\alpha q_c} - \frac{1}{\lambda} - 0.5T_0 \right) \quad (4.70)$$

Bu bağıntı, diğerlerinden önemli bir farkla ayrılmaktadır: Akçelik, servis gecikmesinin hesaplanmasında, yanyoldaki akımı da dikkate almıştır.

4.5 Çok Şeritli Dönel Kavşaklarda Kapasitenin Belirlenmesi

Dönel kavşakların, özellikle ülkemiz şehir merkezlerinde ve/veya bağlantı yollarında tek şeritli olarak inşa edilmesi sık karşılaşılan bir durum değildir. Dönel kavşaklarda şerit genişliklerinin, rahat dönüş manevrası sağlamak amacıyla geniş projelendirilmesi durumunda bu şeritlerin birden fazla araca hizmet vermesi; sık karşılaşılan durumlardan biridir. Bu durumda yan yolda bulunan bir sürücü, özellikle sola dönüş veya doğru geçiş manevrası yapacaksa, anayolda bulunan “n” şeritteki akımlar içinde bir aralık bulmaya çalışacaktır.

Yanyolda bulunan bir sürücünün, “n” şeritli bir akıma katılması; uzun yıllar boyunca trafik mühendisleri tarafından incelenmiş bir konudur. Hagring (1998), iki şeritli bir ana akımda kritik aralık değerlerinin nasıl çizilmesi gerektiğini şematik olarak göstermiştir. Bu çalışmada, bir, iki veya üç şeritli dönel kavşakların bulunması durumunda kritik aralık kabulünün grafik gösterimlerinin verilmesine çalışılmıştır (Şekil 4.5). Şekil 4.5 ‘in tablo olarak gösterimi ise Tablo 4.7 ‘de verilmiştir.

Örnek kavşaklarda yapılan gözlemler sonucunda üç dönüş şeridi bulunan kavşaklarda, yanyola en yakın şeridin diğer şeritlerden daha az kullanıldığı; hakim akımın ise genelde en uzak şeritte bulunduğu anlaşılmıştır. Şekil 4.5, bu gözlemler doğrultusunda hazırlanmıştır. Şekilde “n”, yakın şeritte; “m” orta şeritte ve “f” uzak şeritte gözlenen aralıkları, “r” ise tek şerit olması durumunda reddedilen aralık değerlerini göstermektedir.

Şekilden de görülebileceği gibi, “n” şeritli bir dönel kavşağın zaman cinsinden aralıklarının modellenmesinde üç yöntem kullanılabilir:

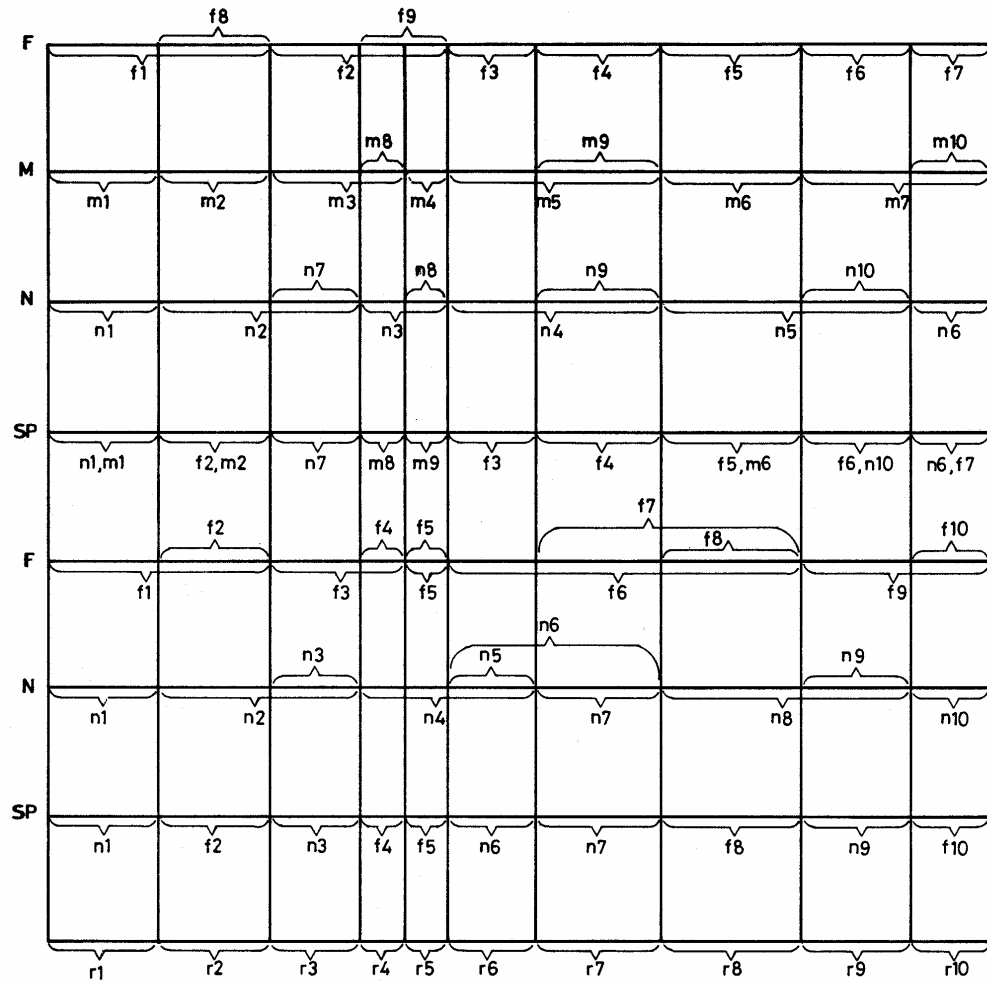
1. İlk ve en basit model, zaman cinsinden aralıkların tek bir şeride ait olduğu şeklinde yapılan kabuldür. Bu işlemin sonucunda her şeritteki aralıkların

dağılımı yerine, sadece “t” gibi bir aralığın olasılığını veren bir dağılım elde edilmektedir.

2. İkinci kabul, gelişlerin, süperpoze edilmiş “n” sayıda sürecin sonucu olduğu şeklinde yapılan kabuldür. Böylece farklı şeritlerdeki dağılımları da içeren tek bir dağılım elde edilmesi sağlanabilmektedir.

3. Üçüncü kabul, her şeritteki gelişleri simültane olarak dikkate almaktır. Bunun sonucunda her şeritteki zaman cinsinden aralık değerlerini ve dağılımlarını dikkate alan bir zaman cinsinden aralık dağılımı elde edilmektedir (Hagring, 1998).

Yukarıdan da görülebildiği gibi, en fazla veriye ihtiyaç duyulan yöntem üçüncüsüdür. Aynı zamanda en gerçekçi sonuçları veren model de budur. İlk yöntemin, diğerlerine oranla daha basit ve anlaşılır olması sebebiyle çalışmada, son iki yöntem hakkında bilgi verilmeye çalışılacaktır.



Şekil 4.5 Çok Şeritli Dönel Kavşaklarda Red Aralıkları

Tablo 4.3 Çok Şeritli Dönel Kavşaklarda Red Aralıkları

Tek Şeritli Model	Süperpoze Edilmiş	Simültane 2 Şeritli Model		Süperpoze Edilmiş	Simültane 3 Şeritli Model		
	2Şeritli Model	Yakın Ş.	Uzak Ş.	2Şeritli Model	Yakın Ş.	Orta Ş.	Uzak Ş.
r1	N1	N1	f1	N1	n1	M1	f1
r2	F2	N2	f2	f2	n2	M2	f2
r3	N3	N3	f3	M3	n3	M3	f3
r4	F4	N4	f4	M4	n4	M4	f4
r5	F5	N5	f5	f5	n5	M5	f5
r6	N6	N6	f6	N6	n6	M6	f6
r7	N7	N7	f7	N7	n7	M7	f7
r8	F8	N8	f8	f8	n8	M8	f8
r9	N9	N9	f9	M9	n9	M9	f9
r10	F10	n10	F10	f10	n10	m10	f10

Troutbeck(1991), anayolda iki şerit bulunması durumunu göz önüne alarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$q_e = q_{c1} q_{c2} \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2} \alpha_1 \alpha_2 \frac{e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)T}}{e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)\Delta} (1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)T_0})} \quad (4.71)$$

Burada

q_{ci} = "i"inci şeride ait trafik akımı;

λ_i = "i"inci şeritteki akıma ait λ katsayısı;

α_i = "i"inci şeritteki serbest araç oranıdır.

Burada, her şerit için yapılan kritik aralık kabulü değerleri ile yanyoldaki araçların takip aralıklarının aynı olduğu kabul edilmektedir. Hagrind (1998),

aynı kabulü yaparak, 2 anayolda iki şeritten daha fazla şerit bulunması durumu için Troutbeck' in vermiş olduğu bağıntının genelleştirilmiş şeklini önermiştir:

$$q_e = \Lambda \prod_i \frac{\alpha_i q_{ci}}{\lambda_i} \frac{e^{-\Lambda T}}{e^{-\Lambda \Delta} (1 - e^{-\Lambda T_0})} \quad (4.72)$$

Burada

$$\Lambda = \sum_i \lambda_i$$

olarak ifade edilebilir.

Yanyoldan kavşağa girmek isteyen sürücüler, her zaman bütün şeritler için aynı kritik aralık değerini kabul etmeyebilirler. Özellikle sağa dönen araçlar için, en yakın dönüş şeridindeki aralıklar, uzak şeritteki aralıklardan daha önemlidir. Bu, kavşak geometrisi ile de yakından ilgili bir konudur.

Çalışmada, her şerit için aynı kritik aralık kabulü değerinin seçildiği göz önüne alınmaktadır.

4.6 Özel Durumlar

Denetimsiz kavşakların kapasiteleri ve performansları, çoğunlukla trafik akımı içindeki sürücülerin davranışlarına bağlıdır. Sürücü davranışları ise, kavşağın geometrik özellikleriyle, sürücülerin birbirleriyle olan etkileşimleri ile değişiklik gösterebilir. Geometrik özelliklerden söz edildiğinde, şerit sayısı, sola veya sağa dönüşler için ayrı şerit bulunması, dönel kavşaklarda orta ada çapı, ayırıcı ada genişlikleri gibi faktörler göz önüne alınmaktadır. Geometrik özelliklerden daha önemli olarak kabul edilebilecek olan sürücü etkileşimleri ise, ağır araç etkisi, kritik aralık kabulünün trafik akımına bağlı olarak değişimi gibi faktörleri içermektedir.

Yukarıdan da görülebileceği gibi, geometrik özelliklerin etkileri, ancak çok sayıda ve değişik geometrik özelliklere sahip kavşakların incelenmesi sonucunda belirlenebilir. Bu da özellikle dönel kavşak örneklerinin çok az sayıda bulunmasından dolayı, ülke genelinde geniş çaplı ve uzun bir çalışmayı gerektirir. Sürücü etkileşimleri ise, geometrik parametrelerin büyük bir kısmından bağımsız olarak, daha kolay elde edilebilir. Çalışmada, sürücü etkileşimlerinde önemli yer tutan ağır araç etkisi ve farklı öncelik koşulları incelenecektir.

4.6.1 Ters Öncelik ve Sınırlı Öncelik Koşulları

Her ne kadar bir dönel kavşakta geçiş önceliği, kavşak içinde dönüş hareketinde bulunan araçlarda olsa da; yan yoldan gelen akımın, dönen akımdan daha büyük olması durumunda önceliklerin değiştiği gözlenebilir. Özellikle şehir içindeki ana arterler üzerindeki dönel kavşaklarda, bu durumla sık karşılaşılmaktadır. Eğer önceliklerdeki bu değişimler dikkate alınmazsa, yan yol kapasitesinin gerçekten daha düşük tahmin edilmesi; bunun sonucunda kavşağın performansı hakkında önemli yanılgılara düşülmesi söz konusu olabilir.

Akçelik (1998), hakim şerit takip aralığı değerinin küçültülmesiyle gerçek kapasitenin elde edilebileceğini öne sürmüştür. Bu azaltma giren akımın, dönen akıma oranı nispetinde yapılmaktadır. Bu, diğer şeritlerdeki takip aralığı değerlerinde de bir azalma meydana getirmekte; ayrıca kritik aralık kabulü değerinde de bir düşüş sağlamaktadır:

$$T_0 = T_0' - \frac{q_e / q_c}{(q_e / q_c)_{\max}} \left[T_0' - \Delta_e - \frac{q_e}{q_{cm}} (\Delta_m - \Delta_e) \right] \quad (4.73)$$

Burada

T_0' = Düzeltilmemiş takip aralığı değeri (saniye);

- $(q_e/q_c)_{max}$ = Kabul edilen maksimum q_e/q_c oranı (genelde 3.0 alınır);
- Δ_e = Yanyoldaki araçlar arasındaki minimum aralık değeri (saniye);
- q_{cm} = Düzeltmenin yapılabileceği üst sınır ($q_{cm} = 0,25$ araç/saniye);
- Δ_m = ($q_c = q_{cm}$) olması durumunda takip aralığı değeridir (saniye).

Troutbeck (1992), ters öncelikli akımlar için, dönen akım değerinin %20 azaltılması durumunda eski kritik aralık değerinin kullanılabileceğini belirtmiştir.

Sık karşılaşılan diğer bir durum ise, yanyoldaki sürücülerin, ana akımdaki araçları yavaşlamaya veya durmaya mecbur ederek kavşağa girmeleridir. Sınırlı öncelik (limited priority) olarak adlandırılan bu durum özellikle, yanyoldaki sürücülerin yüksek ana akım değerleri sebebiyle uzun gecikmelere maruz kaldıkları zamanlarda görülmektedir. Troutbeck (1998), bu durumda yaklaşımın kapasitesinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$q_e = \frac{\alpha C q_c e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (4.74)$$

Bu daha önce (4.17) bağıntısı ile belirtilen ve yine Troutbeck tarafından önerilmiş olan kapasite bağıntısının geliştirilmiş bir şeklidir. Bağıntıda bulunan “C” katsayısı, sınırlı öncelik durumunda kapasitenin hesaplanabilmesi için kullanılan bir katsayıdır ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$C = \frac{1 - e^{-\lambda T_0}}{\left[1 - e^{-\lambda(T-\Delta)} - \lambda(T - T_0 - \Delta)e^{-\lambda(T-\Delta)} \right]} \quad (4.75)$$

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

Yukarıdaki iki durum, özel bir inceleme gerektirdiğinden çalışma kapsamı dışında tutulmuşlardır. Ancak, ileride de görüleceği gibi, gözlem çalışmaları sırasında her iki

durumla da karşılaşılmış; fakat ilişkileri sadece regresyon analizi yapılarak kısaca incelenmiştir.

4.6.2 Ağır Araç Etkisi

Trafik akımlarının içinde yer alan ağır araçlar, trafik akımlarının karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Hızlarının diğer araçlara oranla daha düşük olmasının yanı sıra, yol üzerinde işgal ettikleri alan da diğer araçlara oranla daha fazla olduğundan, bir yol kesiminin veya bir kavşağın performansının tahmininde o yol kesimini veya kavşağı kullanan ağır araç oranının büyük önemi vardır.

Ağır araç etkisini hesaplarda dikkate almak için kullanılan genel yöntem, ağır araç sayısını eşdeğer birim oto değeri ile çarpmaktır. Ancak bu yöntem regresyon analizi ile kavşak kapasitesinin araştırılmasında etkili olurken, kritik aralık kabulü yöntemi için istenen hassasiyeti sağlamaktan oldukça uzaktır. Kritik aralık kabulünde önemli olan, sürücü davranışları ve birbirleriyle olan etkileşimleridir. Ağır araçlar, uzunlukları sebebiyle daha uzun zaman cinsinden aralık değerleri verirler. Bunun sonucunda kağıt üzerinde yanyoldaki araçlar için kabul edilebilir bir aralık olduğu görülürken; aslında aracın uzunluğu sebebiyle uzun bir blok oluşacaktır. Aynı şekilde bu araçların kritik aralık kabul değerleri de diğer araçlardan uzun olacaktır. Bütün bunlar, ağır araçların kapasite ve performans ölçütleri üzerindeki etkisinin daha detaylı incelenmesi gereğini doğurmaktadır.

Türkiye gibi, gerek yük taşımacılığının, gerekse yolcu taşımacılığının büyük oranda karayolu ile yapıldığı bir ülkede, bu daha da önem kazanmaktadır. Şehir içinde toplu taşımacılık büyük oranda otobüslerle yapılmakta; bu da yollarda uzun otobüs kuyruklarının oluşmasına yol açmaktadır.

Dünyada yapılan çalışmalar, bir yöndeki akım içindeki ağır araç oranının %5'i aşması durumunda, ağır araç etkisinin incelenmesi gerektiği görülmüştür (Statens, 1995)(Akçelik, 1998).

Akçelik (1998), ağır araç etkisinin, kapasite hesaplarında kullanılan dönen araç sayısı (q_c) ve hesaplanan yanyol kapasite değerlerinin (q_e) üzerindeki etkisini belirtmek amacıyla bir ağır araç katsayısı (f_{HV}) önermiştir. Bu katsayı, aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir:

$$f_{HV} = \frac{1,0}{1 + (e_{HV} - 1)(p_{HV} - 0,05)} \quad p_{HV} > 0,05 \quad (4.76)$$

$$f_{HV} = 1,0 \quad p_{HV} \leq 0,05$$

Burada

f_{HV} = ağır araç düzeltme katsayısı;

e_{HV} = ağır araç eşdeğer birim oto değeri (birim oto/araç);

p_{HV} = akım içindeki ağır araç oranıdır.

Buna göre, düzeltilmiş dönen akım (q_{cd}) ve düzeltilmiş giren akım (q_{ed}) değerleri, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$q_{cd} = q_c / f_{HVC} \quad (4.77)$$

$$q_{ed} = q_e \cdot f_{HVe} \quad (4.78)$$

Burada f_{HVC} , dönen akıma, f_{HVe} ise giren akıma ait düzeltme katsayılarıdır. Yukarıdan da görülebileceği gibi, ağır araç oranı ana akım değerini arttıracak, yanyol kapasitesini ise azaltacak şekilde hesaplara dahil edilmektedir. Bu da gerçekte karşılaşılan durumu karakterize etmesi açısından önemlidir.

Avustralya’da e_{HV} değeri, 2,0 olarak alınmaktadır. İngiltere’de ise dönen akım için e_{HV} , 1,7; yanyoldaki akım içinse e_{HV} , 1,9 olarak alınmaktadır. Bu yöntem basit olmasına rağmen, e_{HV} değerleri ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir. Bu değerlerin belirlenmesi ise, ayrı bir çalışma gerektirir.

CAPCAL(Statents, 1995)’ise, akım içindeki ağır araç oranının büyüklüğüne bağlı olarak, kritik aralık kabulü değerlerinin büyütülmesi yoluna gidilmektedir. Bunun sonucunda, kapasitenin düştüğü görülecektir. Buna göre kritik aralık düzeltme faktörü ve düzeltilmiş kritik aralık değerleri, aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\Delta T_i = p_{HV} - 0,1 \quad (4.79)$$

$$T_d = \sum_{i=1} \Delta T_i + T \quad (4.80)$$

Burada

$\Delta T_i =$ “i” şeridinde ait düzeltme katsayısı,

$T_d =$ düzeltilmiş kritik aralık kabulü değeridir.

Bu yöntem, diğerine oranla daha basit olmasına rağmen, “0,1” katsayısının kullanılabilirliğinin incelenmesi gerekmektedir.

BÖLÜM BEŞ

VERİ TOPLAMA YÖNTEMİ VE BU AMAÇLA GÖZLENEN KAVŞAKLAR

5.1 Çalışmada Kullanılan Verilerin Elde Edilmesi

Çalışmada iki tip veriden yararlanılmıştır:

1. Daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen veriler,
2. Çalışma sırasında seçilmiş olan kavşaklarda yapılmış olan gözlemler,

Birinci tip veri, özellikle Cowan M3 dağılımının özellikleri hakkında yapılan incelemelerde kullanılmıştır. Tanyel ve diğ. (2000) tarafından yapılmış çalışmalarda elde edilmiş olan gözlem verilerinden yararlanılmıştır. Tanyel ve diğ. (2000) çalışmalarında, kavşaklara yaklaşım şeritlerindeki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin uydukları dağılımlar, özellikle Cowan M3 dağılımının kullanılabilirliği üzerinde durmuşlardır. Bu çalışma kapsamında ise elde edilmiş olan gözlem verileri tekrar gözden geçirilmiş; video kamera ile elde edilmiş olan veriler gerektiğinde tekrar gözlenerek doğrulukları ispatlanmış; dağılımın belirleyici üç parametresinden ikisi olan serbest araç oranı (α) ve minimum zaman cinsinden aralık (Δ) değerleri hakkında belirleyici bir değer veya bağıntı bulunması amacıyla kullanılmıştır.

Yapılan gözlemler sonucu elde edilen veriler ise, çalışmanın temelini oluşturan veri gruplarının hazırlanmasında kullanılmıştır. Bu veriler, çalışmanın bütününde kullanılmakta ve bulunan sonuçların değerlendirilmesinde önemli bir yer teşkil etmektedirler.

5.2 Gözlem Verilerinin Elde Edilmesi

Çalışmada, İzmir'de seçilmiş olan dört kavşak üzerinde gözlemler yapılmış ve veri elde edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu kavşaklar, Montrö Meydanı Kavşağı, Cumhuriyet Meydanı Kavşağı, Alsancak Garı Kavşağı ve Bornova Merkez Kavşağıdır. Bu kavşakların seçilmesinde etkili olan faktörler şu şekilde sıralanabilir:

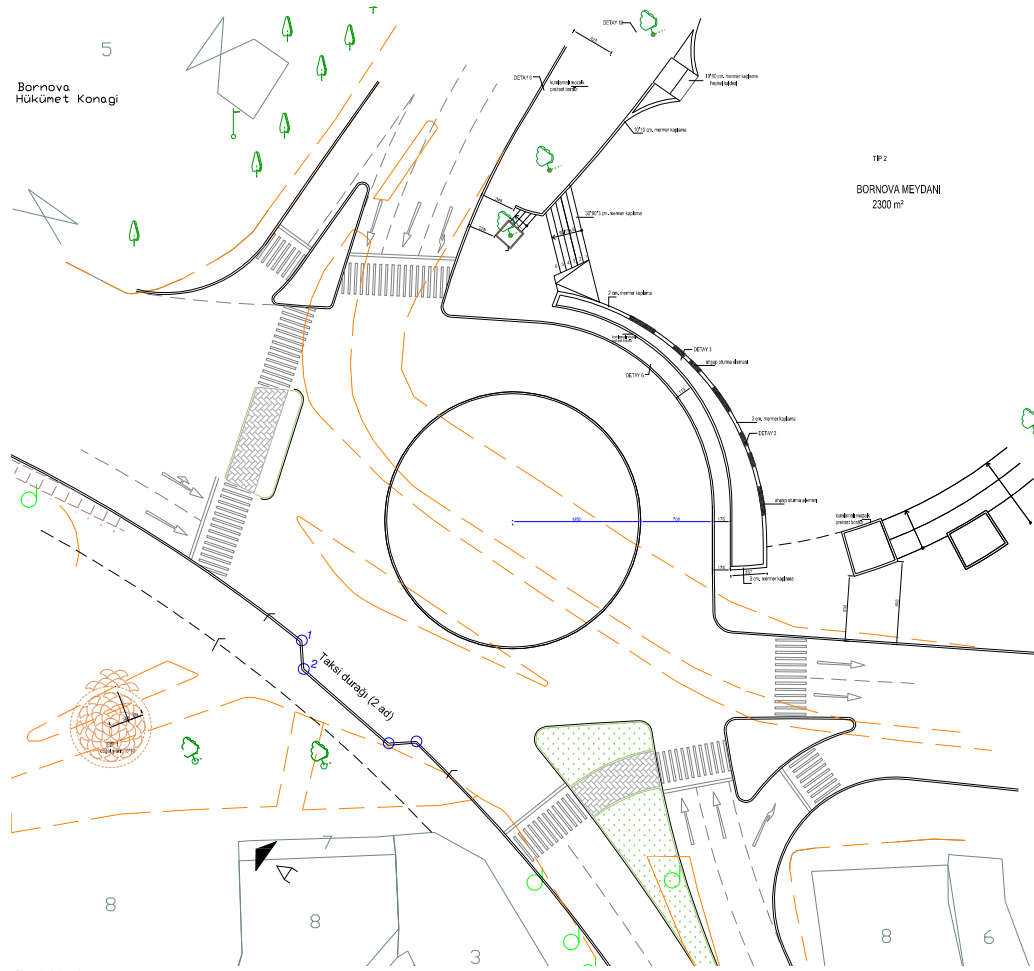
1. Kavşaklar, İzmir'in önemli arterleri üzerinde yer almaktadır.
2. Her dört kavşakta da en az bir yaklaşımda, yoğun dönüş ve giriş hacimleri gözlenmiştir.
3. Her dört kavşakta da video kamerayla çekim yapılma olanağı bulunmaktadır.
4. Her dört kavşakta da gözlem yapıldığı tarihlerde sinyalizasyon sistemi bulunmamaktadır.

Gözlemler, kavşak yakınında yüksek bir noktadan ve video kamera kullanılarak, kavşakta gözlenmesi önceden planlanmış olan bir veya iki yaklaşım kolunda kayıt yapılmak suretiyle elde edilmiştir. Bu yaklaşım kolları, giren akım ile dönen akım etkileşimlerinin en fazla görüldüğü bölgeler olmaları sebebiyle seçilmişlerdir. Diğer yaklaşım kollarında ise dönme veya yan yol akımlarının hacimleri çok düşüktür ve birbirleriyle olan etkileşimleri hakkında yeterli veri toplanamamıştır.

Video çekimleri, video veya bilgisayar yardımıyla çeşitli defalar seyredilerek dakikalık hacim sayımları ve araçlar arası zaman cinsinden aralık değerleri ile kabul aralığı değerleri tespit edilmiştir.

5.2.1 Bornova Merkez Kavşağı

Bornova ilçesi trafiğinin dönüm noktalarından olan kavşaklardan biridir. İlçenin ulaşım ağı üzerinde yer alır. 2006 yılı düzenlemesi sonrasında Şekil 5.1' deki halini almıştır.



Şekil 5.1 Bornova Kavşağı

Kavşağa, Lozan Meydanı Kavşağında olduğu gibi, dört yaklaşım bağlanmaktadır. Bunlardan ikisi tek yöndür. İtfaiye yaklaşımı, son yıllarda sadece kavşaktan çıkan araçlar tarafından tek yön olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple, bu yaklaşımda taşıtlar arası etkileşimler minimum olarak kabul edilebilir.

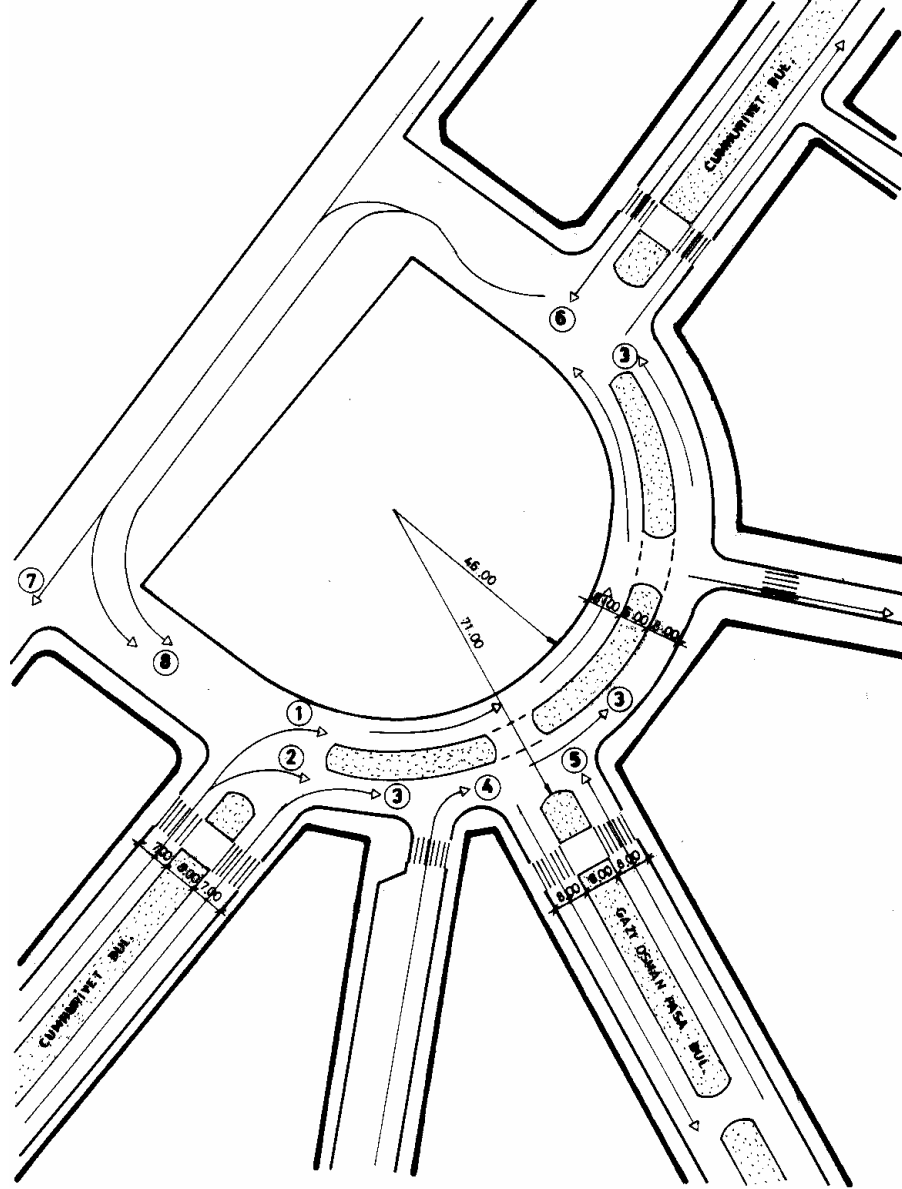
Lozan Meydanı yaklaşımı, yoğunluğu Alsancak Garı yönünden gelen araçlara hizmet vermektedir. Yaklaşımdan önce yer alan otobüs durakları, kavşak kapasitesini etkileyen önemli bir faktör olarak kabul edilebilir. Bu yönden gelen trafik akımı içerisinde ağır araç oranı (büyük kısmını otobüsler oluşturmaktadır), fazladır. Ancak yaklaşımdan gelen araçları engelleyecek ana akım oranı yok denecek kadar azdır.

Cumhuriyet Meydanı yaklaşımı, kavşağın ikinci önemli yaklaşımıdır. Bu yönden gelen yoğun otomobil ve otobüs akımı vardır. Tek yön olarak kullanılan bu yaklaşım iki şeritten oluşmaktadır ve şerit genişlikleri yaklaşık 3,00 m'dir. Bu yaklaşımdan gelen araçların kavşağa girmeleri için, yoğunluğunu Lozan Meydanı yönünden gelen araçların oluşturduğu ana akım içindeki uygun aralıkları beklemeleri gerekmektedir. Yanyol akımının yoğunluğu bu yaklaşımda aralık zorlanması durumunun sıkça görülmesine yol açmaktadır. Her iki akım hacminin yüksek oluşu, araç etkileşimlerinin en üst seviyede gözlemlenebilmesi sonucunu doğurmuştur. Bu sebeple çalışmada, bu yaklaşımda gözlemler yapılmıştır.

Basmane yaklaşımı, Hatay yönünden gelen araçların, Alsancak' taki iş ve alışveriş merkezlerine ulaşmak için kullandıkları önemli bir yaklaşımdır. Ancak bu yöndeki trafik yoğunluğu, Cumhuriyet Meydanı yaklaşımındaki kadar fazla değildir. Bu sebeple, bu yaklaşımdan yeterli veri elde edilmesi mümkün olmamıştır.

5.2.3 Cumhuriyet Meydanı Kavşağı

Cumhuriyet Meydanı kavşağı, tam bir dönel kavşak olmamasına rağmen, özellikle Konak yönünden gelen araçların kullandığı kısmı, düzgün iki Şeritli bir dönüş hareketine olanak tanıdığından, iki dönüş ve tek giriş Şeritli yaklaşımlar için uygun bir örnek oluşturmaktadır. Kavşağın genel planı, Şekil 5.3' te verilmiştir.



Şekil 5.3 Cumhuriyet Meydanı Kavşağı

Kavşağa 7 yaklaşım bağlanmaktadır. Ancak bunlardan ikisi (Montrö Meydanı ve sahil Konak yönü), tek yön ve çıkış için kullanılmaktadır. Talat Paşa Bulvarı-Konak yaklaşımı ise, tek yön geliş olarak hizmet vermektedir. Kavşak içinde farklı birçok hareket bulunduğundan, bunlara birer numara verilerek tanımlanmaya çalışılmıştır.

1,2 ve 3 numaralı akımlar, Konak yönünden gelen araçları tanımlamaktadır. 3 no'lu akıma, 4 ve 5 no'lu akımlar katılmaktadır. Bunların bir kısmı, Montrö yönünde kavşağı terk etmektedir.

Özellikle 3 ve 5 no'lu akımların birleştiği İtfaiye yaklaşımı, dönel kavşak hareketlerinin tanımlanmasında iyi bir örnek teşkil etmektedir. 3 no'lu akımdaki araçlar kavşağa girebilmek için dönüş hareketi yapan araçlar arasında uygun bir aralık beklemek zorunda kalmaktadırlar. Kavşağa giriş açılarının küçük olması, "kritik aralık kabulü" araştırmaları için iyi bir örnek teşkil etmektedir. Çalışmada bu yaklaşımda gözlemler yapılmıştır.

Araçlar, genelde düzgün bir şekilde birbirlerini takip etmektedirler. Bundaki en önemli faktör olarak, Yol genişliğinin Lozan ve Montrö Meydanlarına oranla daha dar olması gösterilebilir. Bu da, 3 ve 5 no'lu akımlardaki araçların, daha fazla etkileşime sahip olmaları sonucunu doğurmaktadır. Yanyoldaki araçlar kavşağa, çok küçük bir dönüş yarıçapı ile girmek zorunda kalmaktadırlar. Bunun, kritik aralık değerini arttırması beklenmektedir.

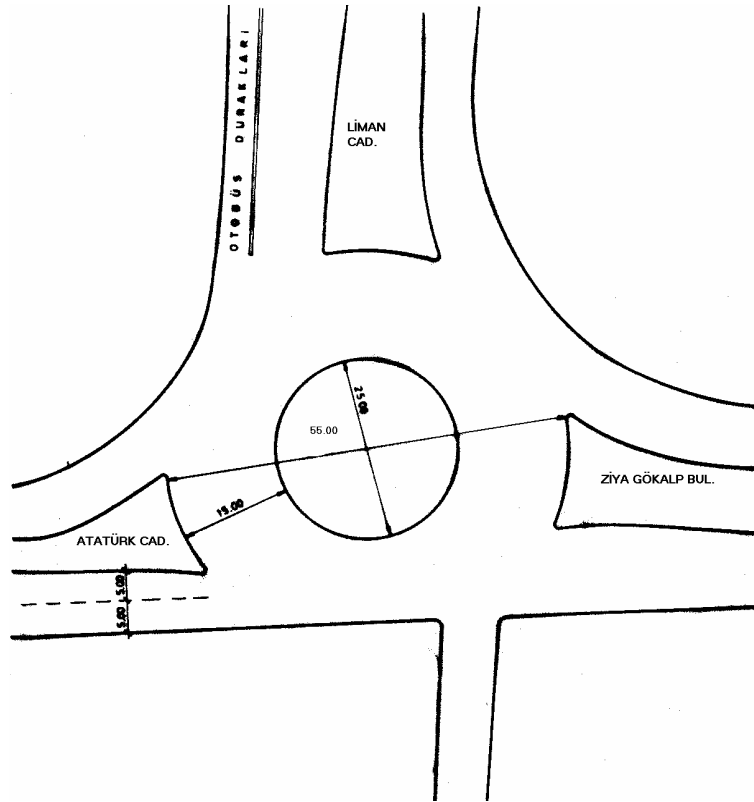
5.2.4 Alsancak Garı Kavşağı

Alsancak Garı Kavşağı, son aylarda düzenlenerek dönel kavşak haline getirilmiş bir kavşaktır. Düzenlemeden önce, çeşitli trafik adaları ile araçların yönlendirildiği sinyalize bir kavşaktı. Son düzenlemelerden sonra, sinyalizasyon sistemi kurulmuş bir dönel kavşak halini almıştır. Çalışmada yapılan gözlemler, sinyalizasyon sistemi

kurulmadan önce video kamera yardımı ile yüksek bir binadan çekim yapılmak sureti ile elde edilmiştir.

Kavşak, İzmir şehir merkezine giriş yapılan kavşaklardan bir tanesidir. İzmir Limanı ile Alsancak Tren Garı'nın yakınında bulunması, önemini arttırmaktadır. Bu kavşakta yapılan gözlemler sırasında sayısı az da olsa, kamyon trafiğine de rastlanmaktadır. Son düzenlemelerde, kavşağının Bornova yaklaşımında otobüs durakları oluşturulmuştur. Kavşağın iki yaklaşımı üzerinde video kamera ile çekim yapılarak veri elde edilmesi yoluna gidilmiştir.

Kavşak ada çapı 25,00 m, dıştan dışa çapı ise yaklaşık 55,00 m'dir. Kavşak yaklaşımları genelde iki şeritli olup, şerit genişlikleri 3,00 m'dir. Kavşak dönüş şeritlerinin özellikle zirve saatlerde üç şerit olarak kullanıldığı görülmektedir. Kavşağın genel planı Şekil 5.4' te verilmiştir.



Şekil 5.4 Alsancak Gar Kavşağı

Çalışmada, Alsancak yaklaşımı ile, Liman yaklaşımında gözlemler yapılmıştır. Alsancak yaklaşımında, Lozan Meydanı Kavşağında olduğu gibi, ters öncelik durumu gözlenmiştir. Liman yaklaşımında ise, kısa süreli de olsa sağlıklı gözlem yapılabilmektedir.

Diğer yaklaşım kolu olan Şaraphane yaklaşımında ise, özellikle anakim değerinin çok küçük olması sebebiyle sağlıklı veri elde edilmesi mümkün olmamıştır.

5.3 Gözlemlerin Yapılmasında Karşılaşılan Güçlükler

Çalışma sırasında, çalışmaya temel oluşturacak verilerin elde edilmesinde büyük güçlükler yaşanmıştır. Bu güçlükler şu şekilde sıralanabilir:

1. İzmir'de ve başka yerleşim bölgelerinde bulunan dönel kavşakların büyük bir kısmında ışıklı sinyalizasyon bulunmaktadır.
2. Sinyalize olmayan dönel kavşakların büyük bir çoğunluğunda ise, inceleme açısından yetersiz trafik hacimleri gözlenmiştir. Bu özellikle regresyon analizi yoluyla kavşak kapasitelerinin belirlenmesinde büyük bir engel olarak kabul edilebilir. Ancak Cumhuriyet Meydanı ve Montrö Meydanı kavşaklarında regresyon analizi ile kavşak kapasitelerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir.
3. Çeşitli geometrilere (dönüş ve giriş şeridi sayısı, orta ada çapı, v.b.) sahip sinyalize olmayan dönel kavşakların bulunamaması sebebiyle, geometrinin kavşak performansı üzerindeki etkisi incelenememiş, gözlenen kavşaklardan elde edilen verilerle sadece yüzeysel bir tahminde bulunulabilmektedir.
4. İncelenen yaklaşımların hepsinde, yan yol araçlarının gecikmelerinin belirlenmesi mümkün olamamıştır. Bunun en önemli sebebi, bu tip verinin elde edilebilmesi için çekimler sırasında gereken açının sağlanamamış olmasıdır. Kavşakta bulunan binaların yerlerinin buna uygun olmaması; uygun görüşe sahip

binalardan çekim izninin alınamaması, karşılaşılan sorunun en önemli etkenleri olarak gösterilebilir.

5. Taşıt etkileşimlerinin en yoğun yaşandığı zirve saatlerde trafik polislerinin trafik akışına müdahale etmeleri, bazı gözlemlerin nispeten daha kısa olmasına yol açmıştır. Nitekim Alsancak Gar Kavşağında bu durumla karşılaşmıştır. Çekim başka bir güne ertelenmiş fakat kavşakta çok kısa bir süre içinde sinyalizasyon sistemi kurulmuştur. Yine de bu kavşakta kritik aralık kabulü değerleri ve servis gecikmeleri incelenebilmiştir.

BÖLÜM ALTI

DÖNEL KAVŞAKLAR İÇİN BİR KAPASİTE ANALİZ YÖNTEMİ ÖNERİSİ

6.1 Yöntemde Yapılmış Olan Kabuller

Daha önce söz edildiği gibi, sürücü davranışları ülkeden ülkeye, hatta bölgeden bölgeye veya şehirden şehre değişmektedir. Türkiye açısından bu durum, daha belirgin bir hal almaktadır. Sürücülerin kurallara riayet etmemeleri, diğer ülkelerde kullanılan kapasite bağıntılarındaki parametrelerin ülkemiz için ne derecede geçerli olduğunu gündeme getirmektedir.

Çalışmada, kavşak içinde dönüş hareketinde bulunan taşıtlarla yan yolda bulunan taşıtların aralıklarının Cowan M3 dağılımına uyduğu, kabul edilmiştir. Tanyel ve diğ. (2000), yaptıkları araştırmalarda, özellikle 4 saniye ve daha uzun zaman cinsinden aralık değerlerinin, Cowan M3 dağılımıyla tanımlanabileceğini öne sürmüşlerdir.

Çalışmada yapılan diğer bir kabul, yanyolda bulunan sürücülerin davranışlarının homojen ve istikrarlı olduğudur. Bu, çalışmalarda yapılan genel bir kabuldür (Hagring, 1998). Sürücülerin davranışlarının her zaman homojen ve istikrarlı olmadığı bilinen bir gerçektir. Ancak bu durum, kapasite ve performans analizlerini güçleştirmektedir. Çalışmada Türkiye'deki farklı sürücü davranışları, Cowan M3 dağılımının parametreleri üzerinde yapılan incelemeler sonucunda tanımlanmaya çalışılmıştır.

6.2 Cowan M3 Dağılımının Parametrelerinin İncelenmesi

Cowan M3 dağılımı kullanılarak geliştirilen çeşitli kapasite ve performans analizi yöntemlerinde, dağılımın parametrelerinde farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar, Bölüm 3'te açıklanmıştır. Farklı sürücü özelliklerine bağlı olarak, parametrelerin değişiklik göstermesi normaldir. Çalışmada, yapılan kavşak gözlemlerinden yararlanarak; dağılımın belirleyici parametreleri olan minimum zaman cinsinden aralık değeri (Δ) ile serbest araç oranı (α) parametreleri üzerinde araştırma yapılmıştır.

6.2.1 Minimum Zaman Cinsinden Aralık Değerlerinin (Δ) İncelenmesi

Trafik mühendislerinin karşılaştığı en büyük problemlerden biri, akım içinde serbest hareket eden araçların oranlarının bilinmesidir. 2 saniyeden daha küçük aralıkların, büyük olasılıkla birbirini takip eden araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değeri olduğu kabul edilebilir. 4 saniye ve daha uzun zaman cinsinden aralıkların ise daha çok, akım içinde serbest hareket eden araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri olduğu kabul edilebilir. Esas zorluk, arada kalan değerlerin hangi gruba ait olduğunun belirlenmesinde ortaya çıkmaktadır (Troutbeck, 1997). " Δ " değerinin, akımın hızına bağlı olarak değişebileceği mutlaka göz önünde tutulmalıdır. Ayrıca, akım içinde yer alan ağır araçların öndeki aracı zaman cinsinden takip aralıkları da, diğer araçlara oranla daha uzun olabilir.

Genelde yapılan kabul, 2 saniyeden daha uzun " Δ " değerlerinin gerçekçi olmadığı ve bu değerlerin 1,5, 1,8 veya 2,0 saniye olarak alınmasıdır (Hagring, 1998). Luttinen (1999), 1,6 saniyenin de kabul edilebilir ve iyi sonuçlar veren bir değer olduğunu belirtmiş; ancak değişik koşullar için değişik " Δ " değerlerinin kullanılması gerektiğini; bu değerlerin hesaplanabilmesi için de Sullivan ve Troutbeck (1994)

tarafından önerilmiş olan "En Küçük Kareler" yönteminin kullanılmasının uygun olduğunu öne sürmüştür.

2 saniyeden daha büyük " Δ " değerlerinin gerçekçi olarak kabul görmemesi, özellikle İsveç ve Avustralya gibi trafik kurallarına uyulan ülkelerde normal sayılabilir. Fakat yanyol sürücülerinin uzun süre bekledikten sonra, ana akım içinde buldukları ve nispeten kısa kabul edilebilecek aralıklara girmeleri halinde, durum farklı olacaktır. Troutbeck (1997, 1998) yaptığı çalışmalarda, ana akım içindeki araçların gecikmelerini dikkate alarak, bir kapasite bağıntısı önermiştir. Çalışmada ise bu durum, ana akım içindeki " Δ " değerlerinin belirlenmesi yoluyla bir oranda tanımlanmaya çalışılmıştır.

" Δ " değerleri, Luttinen'in önerisi doğrultusunda, "En Küçük Kareler" yöntemine göre bulunmuştur. Bulunan " Δ " ve " α " değerleri Tablo 6.1' de görülmektedir:

Tablo 6.1 En Küçük Kareler Yöntemine Göre " q_c ", " Δ " ve " α " Değerleri

Şerit	q_c	Δ	α
Cumhuriyet Anaakım Sağ10	0,131	2	0,82
Cumhuriyet Anaakım Sağ20	0,194	2	0,55
Cumhuriyet Anaakım Sağ30	0,155	2	0,96
Cumhuriyet Anaakım Sağ40	0,163	2	0,52
Cumhuriyet Anaakım Sağ50	0,159	2	0,58
Cumhuriyet Anaakım Sağ60	0,157	2	0,99

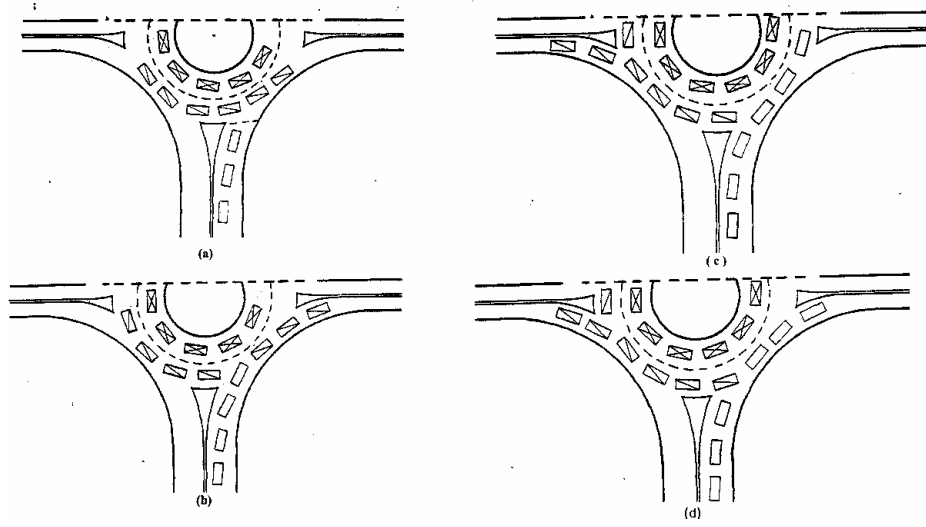
Gar Anaakım Sağ10	0,025	2	0,93
Gar Yanyol Sağ10	0,101	2,1	0,97
Gar Yanyol Sağ20	0,101	3,2	0,97
Montrö Anaakım Sağ10	0,105	2,2	0,98
Montrö Anaakım Sağ20	0,119	2	0,98
Montrö Anaakım Sağ30	0,098	3	0,99
Bornova 1 Anaakım Sağ10	0,108	2,2	0,98
Bornova 1 Anaakım Sağ20	0,094	3,8	0,98
Bornova 1 Anaakım Sağ30	0,124	2	0,99
Bornova 1 Anaakım Sağ40	0,134	2,6	0,97
Bornova 1 Anaakım Sağ50	0,113	2	0,94
Bornova 1 Anaakım Sağ60	0,127	2	0,90
Bornova 2 Anaakım Sağ10	0,121	2	0,52
Bornova 2 Anaakım Sağ20	0,118	2	0,76
Bornova 2 Anaakım Sağ30	0,174	2	0,73
Bornova 2 Anaakım Sağ40	0,170	2,8	0,99
Bornova 2 Anaakım Sağ50	0,155	2	0,84

Bornova 2 Anaakım Sağ60	0,170	2	0,94
Cumhuriyet Anaakım Sol10	0,281	2	0,60
Cumhuriyet Anaakım Sol20	0,268	2	0,54
Cumhuriyet Anaakım Sol30	0,261	2	0,54
Cumhuriyet Anaakım Sol40	0,234	2	0,81
Cumhuriyet Anaakım Sol50	0,198	2	0,59
Cumhuriyet Anaakım Sol60	0,254	2	0,56
Gar Anaakım Sol10	0,157	2	0,69
Gar Yanyol Sol10	0,198	2	0,72
Gar Yanyol Sol20	0,216	2	0,94
Montrö Anaakım Sol10	0,213	2	0,61
Montrö Anaakım Sol20	0,206	2	0,68
Montrö Anaakım Sol30	0,178	2	0,71
Bornova 1 Anaakım Sol10	0,158	2	0,84
Bornova 1 Anaakım Sol20	0,144	2	0,92
Bornova 1 Anaakım Sol30	0,144	2,7	0,97
Bornova 1 Anaakım Sol40	0,140	2	0,60

Bornova 1 Anaakım Sol50	0,132	2	0,85
Bornova 1 Anaakım Sol60	0,109	2	0,77
Bornova 2 Anaakım Sol10	0,199	2	0,82
Bornova 2 Anaakım Sol20	0,178	2,2	0,99
Bornova 2 Anaakım Sol30	0,154	2,6	0,97
Bornova 2 Anaakım Sol40	0,168	2,2	0,98
Bornova 2 Anaakım Sol50	0,141	2	0,97
Bornova 2 Anaakım Sol60	0,148	2	1,00

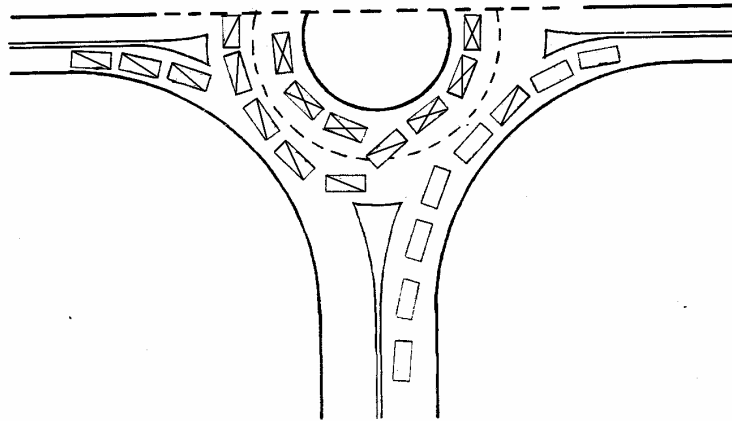
Ana akım içindeki araçların takip süreleri, yan yoldaki araçlar tarafından engellenmedikleri sürece, 1,5 saniye ile 2,0 saniye arasında değişmektedir. Ancak bu, özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu kesimlerde, sık görülen bir durum değildir. Trafik Yönetmeliğinde de yer alan “dönel kavşaklarda geçiş üstünlüğü dönen araca aittir” kuralı, sürücülerimiz tarafından genelde bilinmemektedir. Yan yoldaki araçların, kavşağa çok küçük aralıklarda girmeleri sonucunda, ana akımda büyük gecikmeler olmakta; bu da kavşağın tıkanmasına yol açmaktadır.

Bu tip dönel kavşak yaklaşımlarında, yan yoldaki ilk sürücü bir aralık kabul etmekte; yan yolda bekleyen sürücülerin bir kısmı da öndeki aracı takip ederek kavşağa girmektedirler. Yan yoldan kavşağa birbirini takip ederek giren araçlar, zirve saatlerde, ana akımdaki araçların hareketini uzun süre engellemekte ve gecikmelerine yol açmaktadır. Bu kez ana akım içindeki araçlar, yan yoldan kavşağa giren araçlar arasında uygun bir aralık bulmaya çalışmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Ana akımdaki Sürücülerin, Yan yol Akımı İçinde Aralık Kabul Etmeleri

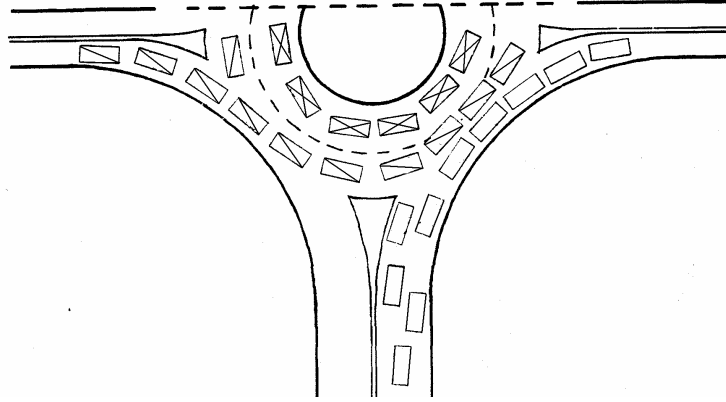
Yapılan gözlemler, yan yola en yakın dönüş şeridinde bu durumun daha fazla meydana geldiğini göstermiştir. Dönel kavşağın en sağ şeridinde bulunan sürücüler, bu kez sol şeride doğru kaymakta; sol şeridin tıkanmasına ve/veya sol şeritteki araçların maruz kaldıkları gecikmelerin uzamasına yol açmaktadırlar (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Ana akımdaki Araçların, Sol Şeride Kaymaları

Gözlemlenen diğer bir durum ise, yan yoldaki araçlar kavşağa girmeye devam ederken; ana akımdaki araçların da hareketlerine devam etmeleridir. Kavşak içi şerit genişlikleri fazla ise, bu büyük bir problem yaratmamaktadır. Montrö ve Lozan

kavşaklarında bu durum, rahatça gözlenebilmektedir. Ancak şerit genişliklerinin dar olduğu kesimlerde (Alsancak Gar Kavşağı gibi.), hareket benzer şekilde devam etmekte; fakat alan daraldığından daha yavaş olmakta ve takip aralıkları uzamaktadır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Yan yoldaki Araçların, Anayoldaki Araçların Yanında Kavşağa Girmeleri

Sonuç olarak, dönel kavşak kapasite ve performans analizlerinde, minimum zaman cinsinden aralık değerinin, kavşak özelliklerine göre 1,5 saniye ile 2,5 saniye arasında değiştiği göz önüne alınacaktır.

Çalışmada Δ değeri 1,8 ve 2,0 olarak kabul edilmiştir. Ancak Δ değerine bağlı olarak serbest araç oranının (α) 1,0' den büyük değerler aldığı durumlarda minimum zaman cinsinden aralık değeri (Δ), 2,0' den büyük alınmıştır.

6.2.2 Ana Akım İçindeki Serbest Araç Oranı (α)

Kritik aralık kabulüne dayalı kapasite ve performans analiz yöntemlerindeki en büyük farklılık, ana akım içindeki serbest araç oranının belirlenmesinde görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, daha önce de sıkça belirtildiği gibi, sürücü davranışlarının ve trafik koşullarının ülkeden ülkeye farklılık göstermesidir.

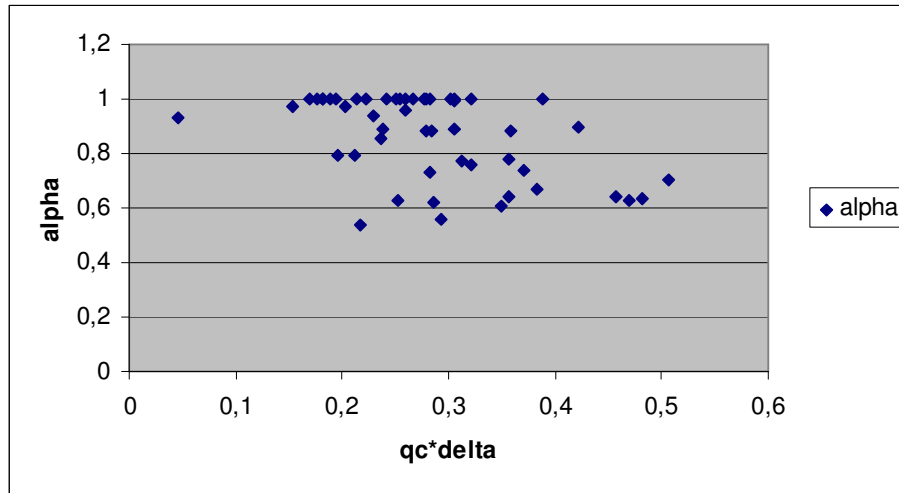
Çalışmada, yapılan gözlemlerden yararlanarak, serbest araç oranının belirlenmesi için ülkemiz şartlarına uygun bir bağıntının geliştirilmesine çalışılmıştır.

Bölüm 3'te de belirtildiği gibi, serbest araç oranının belirlenmesinde, değişik model önerileri bulunmaktadır. Hagring ve Troutbeck, serbest araç oranının belirlenmesi için, doğrusal bir bağıntının kullanılması gerektiğini önermişlerdir (Hagring, 1998). Troutbeck'in önerdiği bağıntı, Tanner (1962) tarafından önerilmiş olan ve günümüzdeki modellerin başlangıcı olarak kabul edilen çalışmasındaki bağıntının "0,75" ile çarpılmış halidir. Akçelik ve Chung (1994) ise, üssel bir bağıntının daha iyi sonuç verdiğini öne sürmüşlerdir. Plunk, üçüncü dereceden bir bağıntı önermiştir (Hagring, 1998).

Bağıntılar incelendiğinde serbest araç oranının (α), akıma ait minimum zaman cinsinden aralık değeri (Δ) ile, ana akımda saniyede geçen araç sayısının (q_c) çarpımıyla orantılı olduğunun kabul edildiği görülmektedir. Çok sayıda aracın geçtiği ve araçların nispeten yüksek hızlarla hareketlerine devam ettikleri kesimlerde, araçlar arasındaki minimum aralık değerinin düşük olması beklenir (Tanyel, 2001).

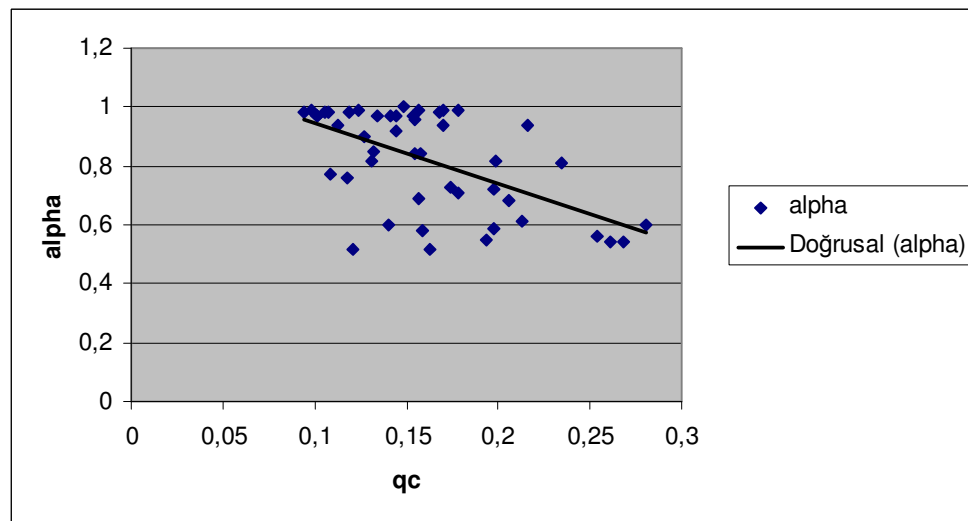
Çalışmada α değerinin bulunması amacıyla yeni bir bağıntı araştırılmıştır. Bu amaçla gözlenen α değerleri, dönen akım (q_c) ve minimum zaman cinsinden aralık değerleriyle (Δ) ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

İlk olarak α değerlerinin $q_c \Delta$ çarpımı ile ilişkisi incelenmiştir (Şekil 6.4). Şekilden ilişkinin yeterince güçlü olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.4 $\alpha - q_c \Delta$ ilişkisi

İkinci aşama olarak α sadece dönen akım değerleri dikkate alınarak bulunmaya çalışılmıştır (Şekil 6.5). Şekilden ilişkinin (Δq_c) çarpımına oranla daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.



Şekil 6.6 $\alpha - q_c$ ilişkisi

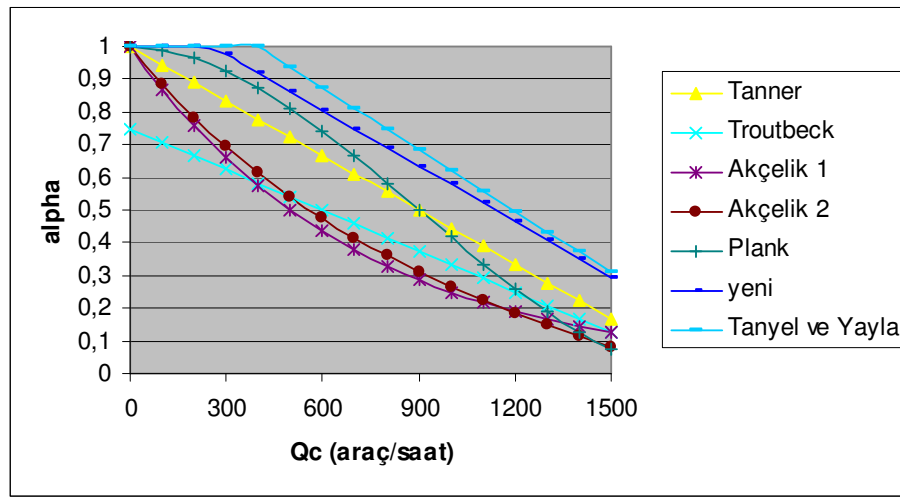
Verilerden;

$$\alpha = 1,1513 - 2,059q_c \Leftrightarrow q_c \geq 0,073 \text{ araç / san} \quad (6.1)$$

$$\alpha = 1$$

α için bulunan bağıntı üzerinde daha detaylı bir çalışma gerekmektedir. Ancak çok şeritli dönele kavşaklarda ana akım içinde hiç araç olmama durumuna rastlanmamıştır.

Çalışmada kullanılacak “ α ” bağıntısının seçilmesi amacıyla Tanner (1962), Troutbeck (AUSTROADS,1993), Akçelik (1998,2003), Akçelik ve Chung (1994), Plank (1982) ve Tanyel ve Yayla (2003) tarafından önerilen bağıntılar, (6.1) bağıntısı ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Çeşitli α bağıntılarının karşılaştırılması

Şekilden, önerilen (6.1) bağıntısı ile Tanyel ve Yayla (2003) tarafından önerilen bağıntının benzer sonuçlar verdiği, (6.1) bağıntısının Tanyel ve Yayla (2003) bağıntısına oranla daha düşük değerler verdiği gözlenmiştir.

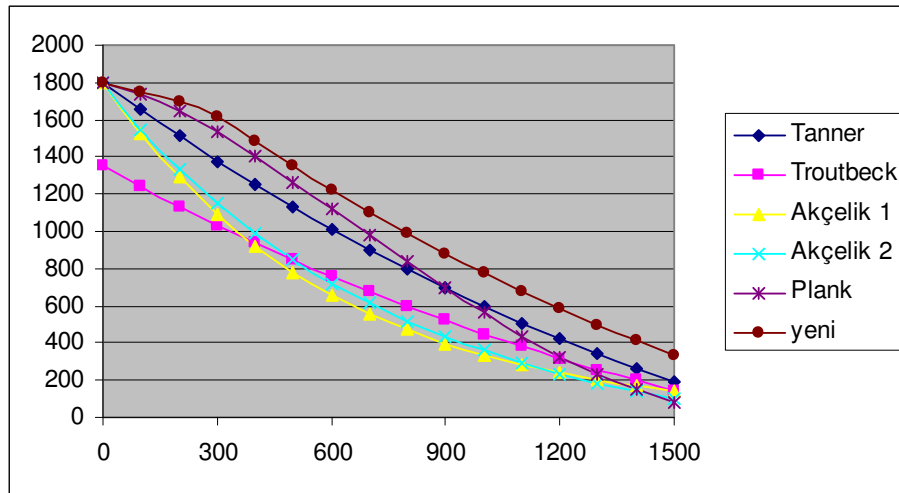
Ancak R^2 değerinin ve buna bağlı olarak korelasyon katsayısının düşük olması bağıntının kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Bağıntının diğer α bağıntılarından daha yüksek sonuçlar vermesi, Türk sürücü davranış farklılığını ortaya koyduğu söylenebilir.

Gerek (6.1) ve gerekse Tanyel ve Yayla (2003) tarafından önerilen bağıntılarda serbest araç oranının düşük akımlarda "1" e çok yakın değerler verdiği görülmüştür. Ancak yüksek akımlarda da diğer bağıntılara oranla daha yüksek değerler vermektedir. Ancak yüksek akımlara ait veri sayısı oldukça sınırlıdır.

Plank (1982) tarafından önerilen bağıntı düşük akımlarda diğer bağıntılara yakın değerler vermektedir. Bu nedenle çalışmanın bundan sonraki aşamalarında Plank' ın bağıntısı kullanılacaktır (3.18).

6.2.3 Önerilen " α " Bağıntısının, Diğer " α " Bağıntıları İle Karşılaştırılması

Değişik " α " bağıntıları, minimum zaman cinsinden aralık değerinin (Δ), 2,0 saniye olduğu kabulü ile değişik " Q_c " değerleri için hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 6.8' de verilmiştir:



Şekil 6.8 Çeşitli " α " Bağıntılarının Grafikselsel Karşılaştırılması

Şekil 6.8 incelendiğinde, önerilen " α " bağıntısının sonuçlarının, diğer değerlerden çok daha yüksek çıktığını göstermiştir. Bunun değişik sebepleri olabilir; fakat bunlardan en önemli olanları, şu şekilde açıklanabilir:

1. Türkiye'de sürücü davranışları, diğer ülkedeki sürücülere oranla çok farklıdır. Sürücülerin ani şerit değiştirmeleri, hız sınırı kurallarına uyulmaması gibi, akımın hareketini engelleyici davranışlara, ülkemiz yollarında ve kavşaklarında sık rastlanmaktadır. Bu davranışlar sonucunda, akım içerisinde gerçekte mevcut yol ve trafik şartlarından kaynaklanan ancak, farklı sürücü davranış ve/veya alışkanlıkları olarak adlandırılabilir manevralar sebebiyle; ana akım içindeki serbest araç oranı, özellikle dönüş şeritleri için, beklenenden daha yüksek çıkmaktadır.

2. Yanyol sürücülerinin, çok küçük aralık değerlerinin bile kabul ederek kavşağa girmeleri ve Bölüm 6.2.1.'de açıklandığı gibi, kavşakta dönüş hareketinde bulunan araçları durmaya mecbur ederek kavşağa giren araçların sayısının fazla olması, anaakım içindeki araçların önlerindeki araçlar haricinde, yanyoldan kavşağa giren araçlardan da etkilenmeleri sonucunda, zaman cinsinden aralık değerleri uzamakta ve araçlar birbirlerinden bağımsız hareket ediyormuş gibi görünmektedir. Bu da hesaplarda, serbest araç oranının büyük çıkmasına sebep olmaktadır.

3. Anaakım içindeki ağır araç oranı, diğer ülkelere oranla çok fazladır. Bu araçların, önlerindeki araçları takip aralıklarıyla, yanyol araçları için oluşturdukları blok süreleri, otomobillerin değerlerinden daha yüksektir. Bunun sonucunda, kavşaktaki araç tip farklılıkları gözlemlenmeden elde edilmiş olan zaman cinsinden aralık veri grupları incelendiğinde; uzun zaman cinsinden aralık değerleriyle karşılaşılmakta ve bunun sonucunda, yüksek serbest araç oranı değeri hesaplanmaktadır. Bu sebeple, değişik araç tipleri için eşdeğer birim oto değerinin hesaplanması, yararlı bir sonuç verebilir (Tanyel, 2001).

Bulunan bağıntı üzerinde, yukarıda açıklanmaya çalışılmış olan durumların tümünün etkili olduğu söylenebilir. Bulunan sonuçlardan, özellikle kapasite ve gecikme analizlerinde, " α " değerinin büyük etkisinin olacağı söylenebilir. Özellikle ağır araç oranının kavşak performansı üzerindeki etkisinin incelenmesinde büyük yarar sağlayabileceği, göz ardı edilemeyecek bir gerçektir. Ayrıca küçük aralık

kabulü değerlerinin de kapasite ve gecikme değerleri üzerinde etkili olması gerektiği düşünülmektedir.

6.3 Kritik Aralık Kabulü Değeri İle Dağılımlarının Belirlenmesi

Denetimsiz ve dönel kavşaklarda, belirlenmesi gereken en önemli parametrelerden biri de, yanyol araçlarının kritik aralık kabulü değerlerinin belirlenmesidir. Bu konu, Bölüm 4.2' de detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Çalışmada, kritik aralık kabulü değerinin belirlenmesi sırasında, her sürücünün sadece bir aralık kabul edebileceği fakat birden fazla aralığı reddedebileceği göz önünde tutulmuş; reddedilen aralıklardan en büyüğü alınarak kritik aralık kabulü analizlerinde kullanılmaya çalışılmıştır.

6.4 Takip Aralığı Değeri

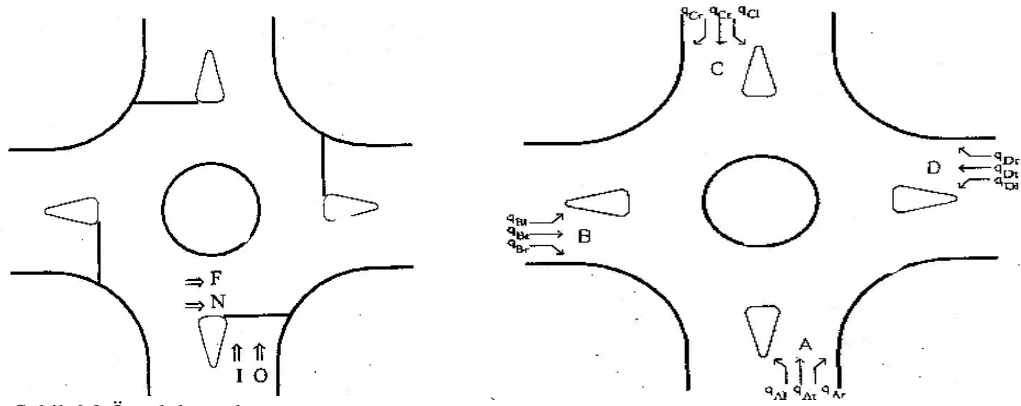
Yanyoldan bir aralık kabul ederek kavşağa giren araçları, aynı aralığı kabul eden başka araçlar da takip ederek kavşağa girebilirler. Bu değer, özellikle kapasite analizlerinde büyük öneme sahiptir. Bu değer küçük olması, yanyol kapasitesinin aynı oranda yüksek olması sonucunu doğurur. Bu sebeple uygun bir değer seçilmesi çok önemlidir.

Literatürde genelde kabul edilen değerler 2,0 saniye civarındadır. İsveç'te, 1,8 saniye ile 3,2 saniye arasında değişen değerler gözlemlenmiştir (Hagring, 1996a). Akçelik (1998) ise bu değerlerin 1,2 saniye ile 4,0 saniye arasında değişebileceğini öne sürmüştür.

Çalışma sırasında yapılan gözlemler sonucunda takip aralığı değerinin 1,32 saniye ile yaklaşık 6,0 saniye arasında değiştiği görülmüştür. Ancak orta değerlerin, 2,5 ila 3,0 saniye arasında değiştiği söylenebilir. Bu durumda takip aralığı değerinin genelde 2,0 saniye olarak alınmasının uygun olabileceği söylenebilir. Yine de gözlemlerde takip aralığının da belirlenmeye çalışılmasında fayda vardır.

6.5 Kavşaktaki Şeritlerin Kullanımının İrdelenmesi

Çalışmanın en önemli aşamalarından biri her yaklaşımın önünde bulunan dönen (engelleyici) akımın belirlenmesidir. Şekil 6.9, örnek kavşak olarak kabul edilmiş ve iki şeritli dönel kavşaklar için Hagring (2000) aşağıdaki modelleri önermiştir:



Şekil 6.9 Örnek kavşak

Model 1 :

$$q_{NL} = q_{LT} + q_{OL} / 2 \quad (6.2a)$$

$$q_{FL} = q_{LL} + q_{OL} / 2 \quad (6.2b)$$

Model 2 :

$$q_{NL} = q_{LT} + q_{OL} \quad (6.3a)$$

$$q_{FL} = q_{LL} \quad (6.3b)$$

Aydemir ve Tanyel (2005) ise, Hagring' in bağıntılarına ek olarak yaptıkları gözlemler sonucunda aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

Model 3 :

$$q_{NL} = q_{LT} / 2 + q_{OL} \quad (6.4a)$$

$$q_{FL} = q_{LT} / 2 + q_{LL} \quad (6.4b)$$

burada ;

q_{NL} : iç şeritteki akım

q_{FL} : dış şeritteki akım

q_{OL} : karşı şeritten sola dönen akım

q_{LL} : sol şeritten sola dönen akım

q_{LT} : sol şeritten düz geçen akım

Çalışmada, Aydemir ve Tanyel (2005)' in gözlemleri ve yeni yapılan gözlemler kullanılmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

a) Bir önceki yaklaşımdan gelip sola dönen araçlar, büyük tıkanıklıklar olmadığı müddetçe sol şeridi kullanma eğilimindedirler(Bu durum ağır araçlar için de geçerlidir).

b) Bornova Merkez kavşağında minibüsler oldukça önemli bir etkiye sahiptirler. Özellikle dolmuş olarak çalışan minibüsler kavşağın yakın (N) şeridini dönüş hareketinde kullanmaktadırlar. Minibüs sürücülerinin yavaş hareketleri, otobüs sürücülerinin diğer şeride kaymasına yol açmaktadır (sollama hareketinde bulunan araçlar). Ancak otobüs şoförleri, gidecekleri yöne bağlı olarak sollamayı gerçekleştirdikten sonra tekrar yakın (N) şeride geri dönmektedirler.

- c) Otomobil sürücüleri, daha çok uzak (F) şeridi tercih etmektedirler.
- d) Bir önceki yaklaşımdan gelerek direkt geçiş yapmak isteyen sürücüler, (yol geometrisine de bağlı olarak) her iki şeridi eşit kullanmaktadırlar.
- e) Ağır araçlar kavşağa girerken mümkün olduğunca dış (O) şeridi tercih etmektedirler. Gidecekleri yöne gör, şerit değişimini kavşak içinde yapabilmektedirler. Ancak direkt geçiş yapan ağır araçlar, kavşak geometrisinin el verdiği durumlarda yakın (N) şeritte kalmaktadırlar.

Bu modeller kullanılarak, Şekil 6.9' deki örnek kavşağa ait engelleyici akımlar Tablo 6.2 ' de tanımlanmıştır.

Tablo 6.2 Engelleyici Akımlar

Model 1	Model 2	Model 3
$Q_{CAN} = DT + CL / 2$ $Q_{CAF} = DL + CL / 2$	$Q_{CAN} = DT + CL$ $Q_{CAF} = DL$	$Q_{CAN} = DT / 2 + CL$ $Q_{CAF} = DT / 2 + DL$
$Q_{CBN} = AT + DL / 2$ $Q_{CBF} = AL + DL / 2$	$Q_{CBN} = AT + DL$ $Q_{CBF} = AL$	$Q_{CBN} = AT / 2 + DL$ $Q_{CBF} = AT / 2 + AL$
$Q_{CCN} = BT + AL / 2$ $Q_{CCF} = BL + AL / 2$	$Q_{CCN} = BT + AL$ $Q_{CCF} = BL$	$Q_{CCN} = BT / 2 + AL$ $Q_{CCF} = BT / 2 + BL$
$Q_{CDN} = CT + BL / 2$ $Q_{CDF} = CL + BL / 2$	$Q_{CDN} = CT + BL$ $Q_{CDF} = CL$	$Q_{CDN} = CT / 2 + BL$ $Q_{CDF} = CT / 2 + CL$

Diğer önemli bir parametre ise yan yolda iki şerit bulunması durumunda bu şeritlerin kullanım oranlarının belirlenmesidir. Bu amaçla gecikmeler arasında bir oran kurularak atamalar yapılmıştır:

$$D_o P = D_1(1 - P) \quad (6.5)$$

burada ;

D_0 : sağ şeride ait ortalama gecikme (san)

D_1 : sol şeride ait ortalama gecikme (san)

P : şerit kullanım oranı

P değeri başlangıçta 0,95 alınmış ve Fisk (1991) yöntemi ile nihai “ P “ değerleri iterasyon sonucunda hesaplanmıştır.

6.6 OD Matrisinin Kavşak Kapasitesi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Çalışmada öncelikle Fisk (1991) tarafından önerilen hesap algoritması kullanılmıştır. Ancak Fisk’ in aksine ana akımdaki araçların birbirlerini negatif üssel dağılımla değil, Cowan M3 dağılımıyla takip ettikleri kabul edilmiştir. Buna göre yanyol kapasitesinin hesaplanmasında çok şeritli kavşaklar için Hagring (1998) tarafından önerilmiş olan (6.6) bağıntısı kullanılmıştır.

$$q_e = \Lambda \prod_i \frac{\alpha_i q_{ci}}{\lambda_i} \frac{e^{-\Lambda T}}{e^{-\Lambda \Delta} (1 - e^{-\Lambda T_0})} \quad (6.6)$$

İki dönüş şeridi için bağıntı aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir (Troutbeck,1991).

$$q_e = q_{c1} q_{c2} \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2} \alpha_1 \alpha_2 \frac{e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) T}}{e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \Delta} (1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) T_0})} \quad (6.7)$$

Daha önce belirtildiği gibi bağıntılarda serbest araç oranı, Plank’ ın (3.18) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Çalışmada OD Matrisinin etkisinin incelenmesi için Hagring(2000) ve Aydemir ve Tanyel (2005) tarafından önerilmiş olan üç bağıntı kullanılmıştır.

Model 1 :

$$q_{NL} = q_{LT} + q_{OL} / 2 \quad (6.2a)$$

$$q_{FL} = q_{LL} + q_{OL} / 2 \quad (6.2b)$$

Model 2 :

$$q_{NL} = q_{LT} + q_{OL} \quad (6.3a)$$

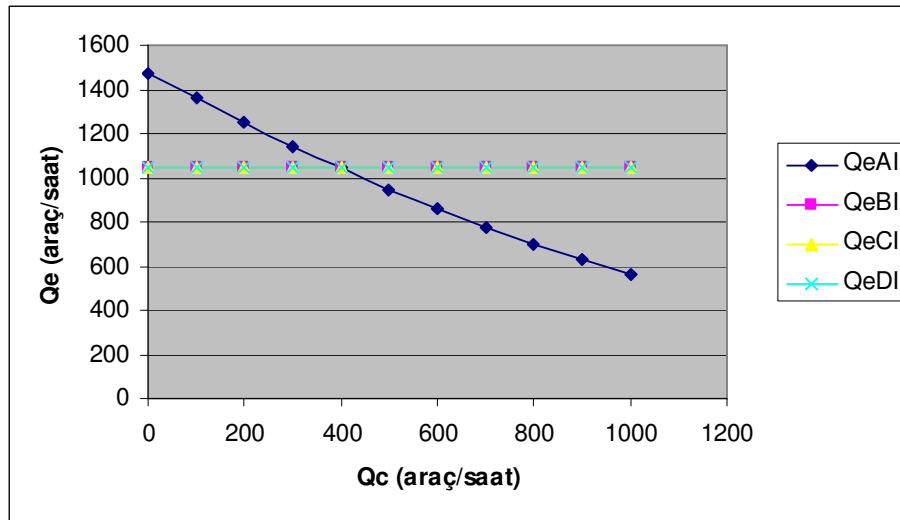
$$q_{FL} = q_{LL} \quad (6.3b)$$

Model 3 :

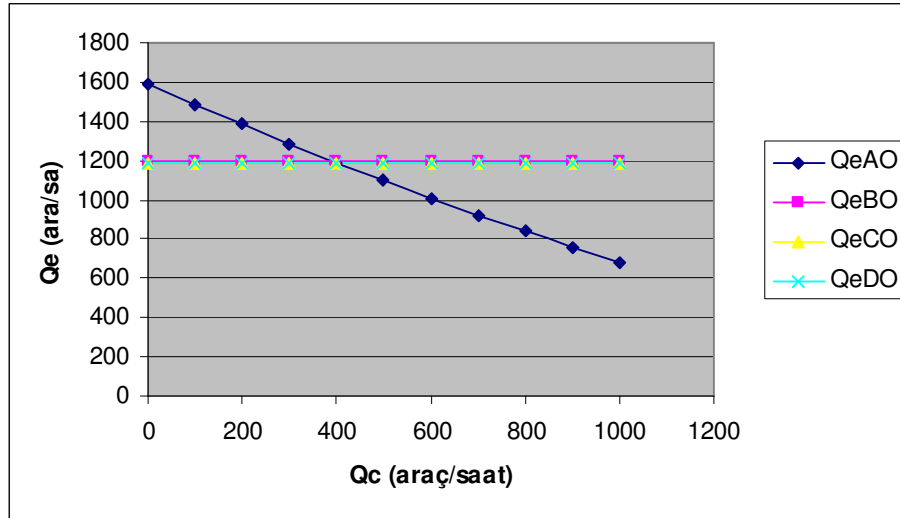
$$q_{NL} = q_{LT} / 2 + q_{OL} \quad (6.4a)$$

$$q_{FL} = q_{LT} / 2 + q_{LL} \quad (6.4b)$$

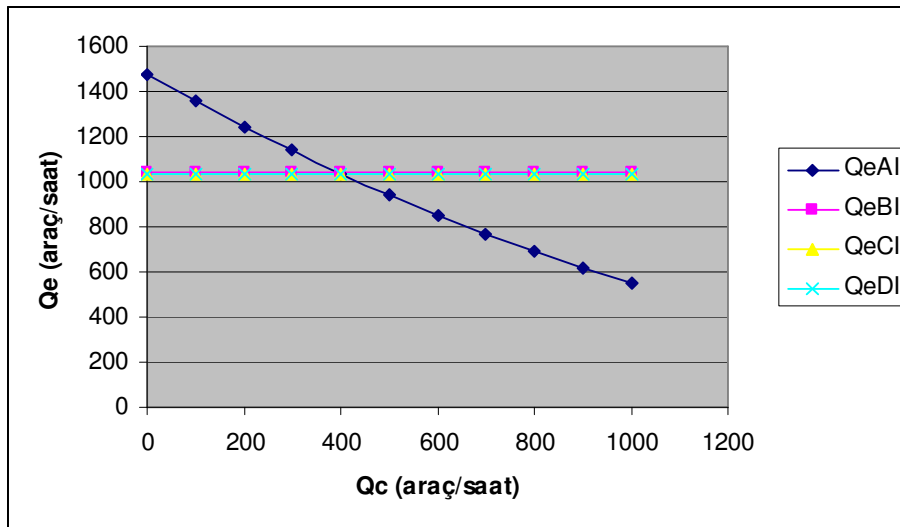
Modeller, Fisk (1991) algoritmasında kullanılmıştır. Yanyoldan gelen araçların, giriş şeritlerine doyunluk dereceleri oranında dağıldıkları kabul edilmiştir. Haging (2003); girişte, anaakıma daha yakın olan (I) şeridin kritik aralık kabulünün, daha uzak olan şeride (O) göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Hesaplar ilk olarak seçilen bir yaklaşımdan (D) direkt geçen araçların sayısı artırılarak yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 6.9a, 6.9b, 6.9c, 6.9d, 6.9e, 6.9f' de görülmektedir.



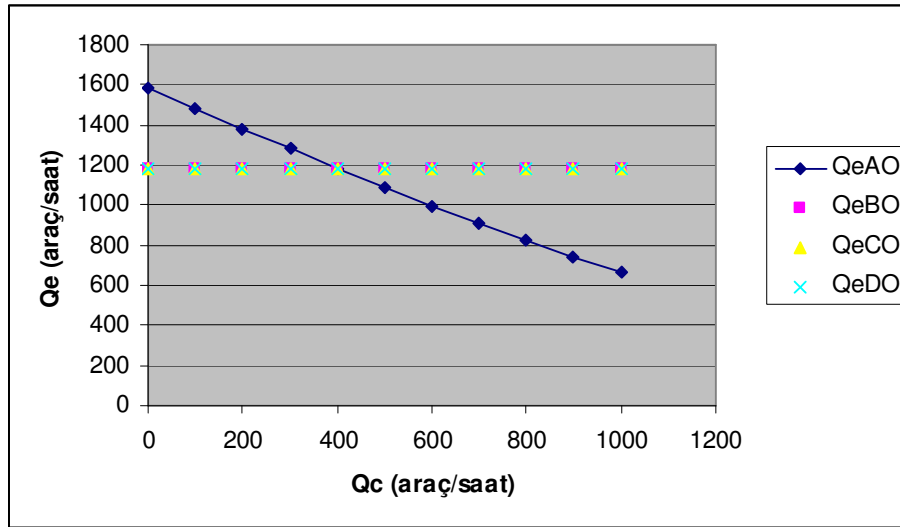
Şekil 6.9a D yaklaşımından direkt geçenlerin sayısının artırılması durumunda Model 1 iç Şerit kapasite değişimleri



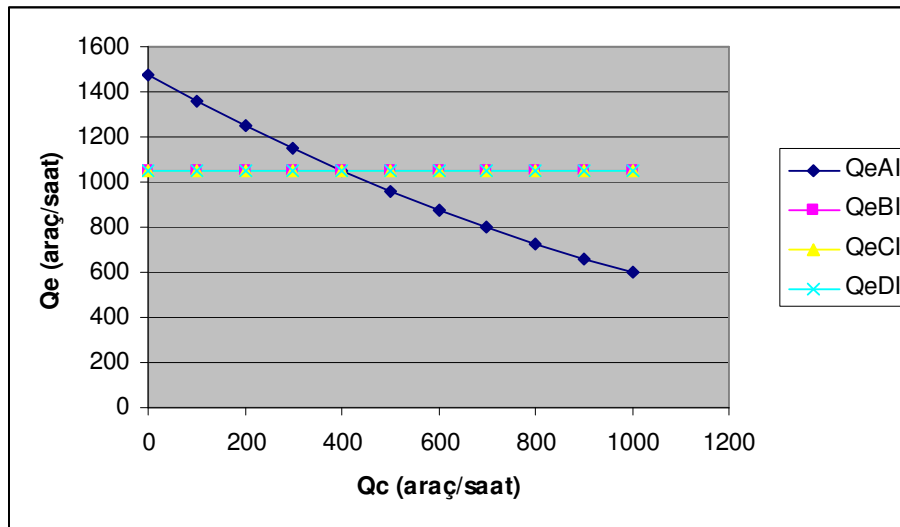
Şekil 6.9b D yaklaşımından direkt geçenlerin sayısının artırılması durumunda Model 1 dış şerit kapasite değişimleri



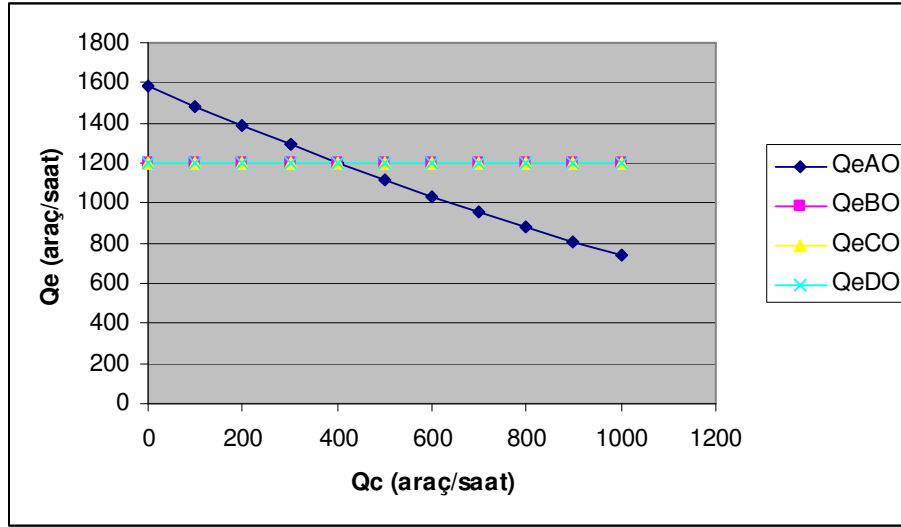
Şekil 6.9c D yaklaşımından direkt geçenlerin sayısının artırılması durumunda Model 2 iç şerit kapasite değişimleri



Şekil 6.9d D yaklaşımından direkt geçenlerin sayısının artırılması durumunda Model 2 dış şerit kapasite değişimleri



Şekil 6.9e D yaklaşımından direkt geçenlerin sayısının artırılması durumunda Model 3 iç şerit kapasite değişimleri



Şekil 6.9f D yaklaşımından direkt geçenlerin sayısının artırılması durumunda Model 3 dış şerit kapasite değişimleri

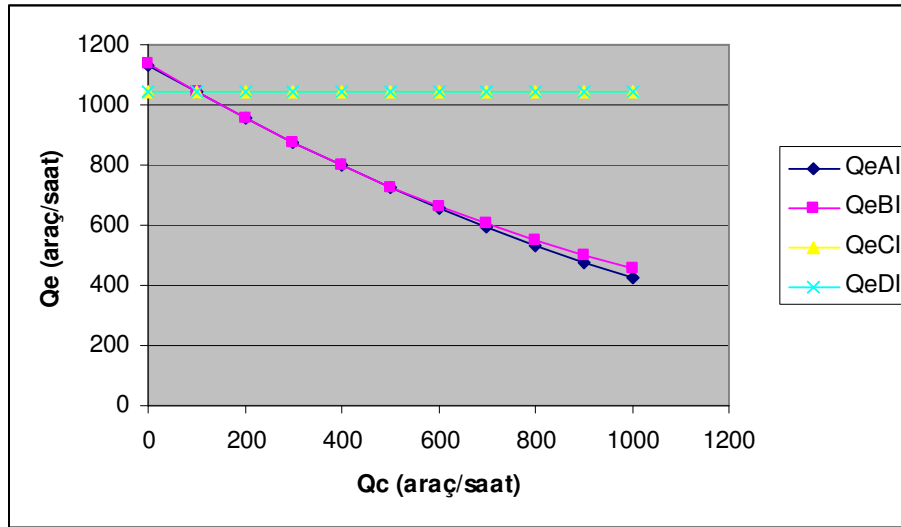
Herhangi bir yaklaşımda direkt geçenlerin sayısı arttıkça; o yaklaşımdan önceki yaklaşımların kapasiteleri, bu artıştan fazla etkilenmemekle beraber yaklaşık aynı değerler almakta, bir sonraki yaklaşımın kapasite değerleri ise artışla birlikte iç şeritlerde daha fazla olmak üzere düşmektedir. Bu her 3 model için de geçerlidir.

İç şeride ait kapasite değerleri, dış şeride göre her zaman daha küçük değerler almaktadır.

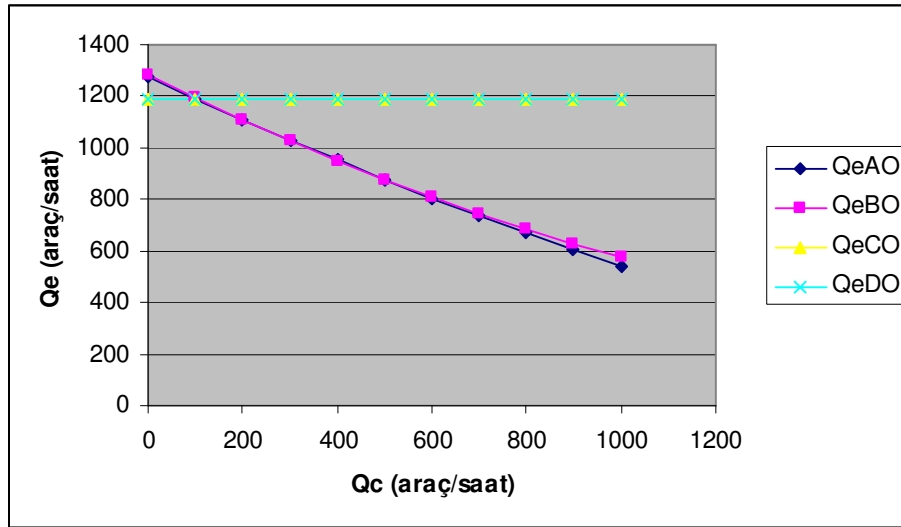
Model 2, modeller arasında en düşük kapasite değerlerini verir.

Model 3, yüksek akımlarda yanyol kapasitesini daha yüksek değerler verir.

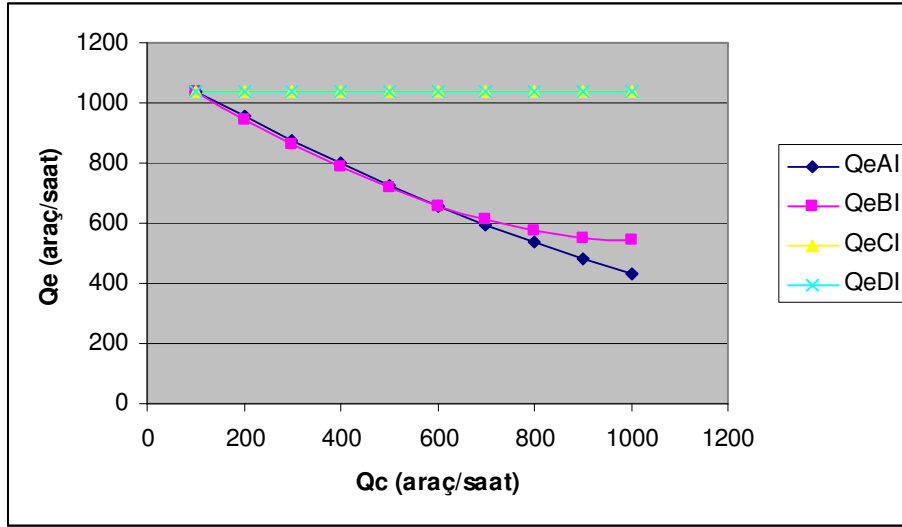
Hesaplar, daha sonra da (D) yaklaşımından sola dönen araçların sayısı artırılarak yinelenmiştir (Şekil 6.10a, 6.10b, 6.10c, 6.10d, 6.10e, 6.10f).



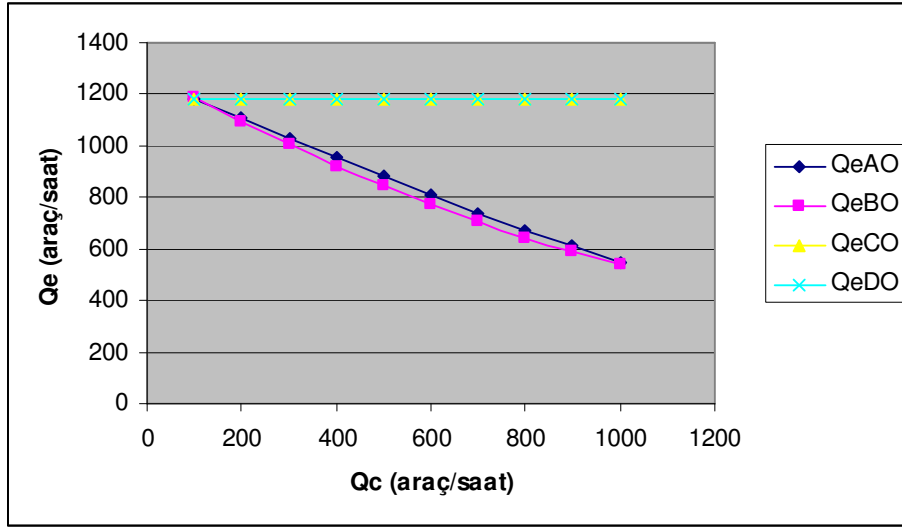
Şekil 6.10a D yaklaşımından sola dönenlerin sayısının artırılması durumunda Model 1 iç şerit kapasite değişimleri



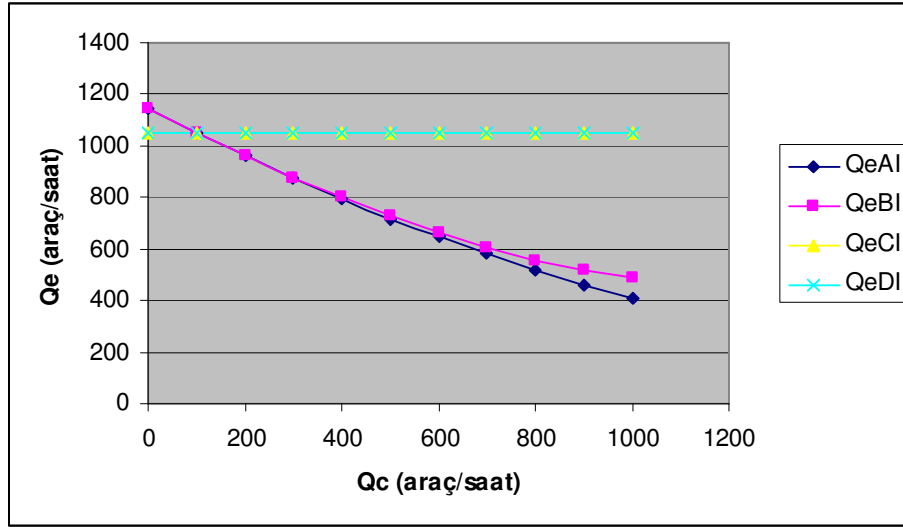
Şekil 6.10b D yaklaşımından sola dönenlerin sayısının artırılması durumunda Model 1 dış şerit kapasite değişimleri



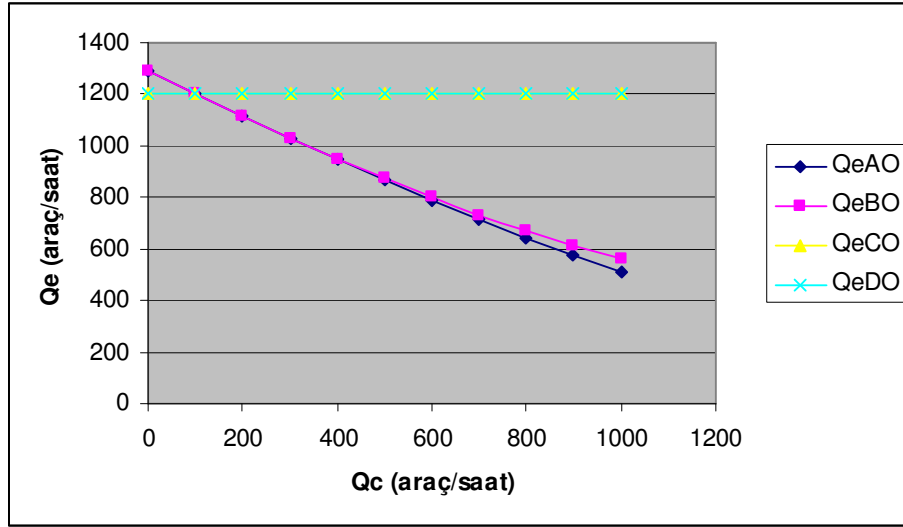
Şekil 6.10c D yaklaşımından sola dönenlerin sayısının artırılması durumunda Model 2 iç şerit kapasite değişimleri



Şekil 6.10d D yaklaşımından sola dönenlerin sayısının artırılması durumunda Model 2 dış şerit kapasite değişimleri



Şekil 6.10e D yaklaşımından sola dönenlerin sayısının artırılması durumunda Model 3 iç şerit kapasite değişimleri



Şekil 6.10f D yaklaşımından sola dönenlerin sayısının artırılması durumunda Model 3 dış şerit kapasite değişimleri

Herhangi bir yaklaşımdan sola dönenlerin sayısı arttıkça ise; o yaklaşımdan sonraki yaklaşımların kapasite değerleri düşmekte, bir önceki yaklaşım ise bundan etkilenmemektedir. Ancak, Model 2, dış şeritte bir sonraki akım (A) değerlerini en yüksek verirken, iki sonraki akım (B) değerlerini en düşük verir.

İç şeride ait kapasite değerleri, dış şeride göre yine daha düşük değerler almaktadır.

Model 2, iç şeritte kapasitesi arttırılan D yaklaşımından 2 sonraki yaklaşım olan (B) kapasite değerlerindeki düşmenin azaldığını gösterir. Ancak, Model 2 yüksek akımlarda tutarlı sonuçlar vermemektedir.

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmada Başlangıç – Son (OD) Matrisinin İzmir’ deki dönel kavşak giriş kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda yaklaşımlardan birisinin talebinin diğerlerine oranla fazla olmasının, kavşak kapasitesini önemli oranda etkilediği, özellikle bir sonraki yaklaşıma ait kapasitenin önemli oranda düştüğü anlaşılmıştır. Sola dönüş hareketlerinin genel kavşak kapasitesi üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

Fisk (1991) yöntemi esas alınarak yapılan hesaplamalarda, yaklaşım performanslarının, dönüş hareketi yapan araçların, dönüş şeritlerine dağılım şekline göre oldukça fazla etkilendiği ortaya çıkmıştır. Hagring (2000) tarafından önerilen iki model, sürücülerin gidecekleri yere en kısa yolu kullanarak ve trafiği aksatmadan ulaşacaklarını öngörerek önerilmiş modellerdir. Bu modeller dikkate alındığında, yaklaşım kapasitesinin her iki model için de benzer sonuçlar verdiği görülmektedir.

Ancak üçüncü modelde, direkt geçiş yapan sürücülerin, her iki dönüş şeridini de eşit olarak kullandığı düşünülmüştür. Bu, yanyol kapasitesinin artması sonucunu doğurmuştur. Gözlemler, yaklaşımlara gelen talep akımlarında dengesizlik bulunması durumunda, yanyola göre uzakta bulunan dönüş şeridinin direkt geçiş yapan araçlar tarafından daha fazla kullanıldığını göstermiştir.

Çalışmada sadece iki dönüş şeritli kavşaklar üzerinde çalışılmıştır. Montrö kavşağı üç şeritli olmasına rağmen, sadece iki şeridinin etkin olarak kullanıldığı görülmüştür. Sürücülerin önemli bir kısmı, kavşağa bağlanan yanyoldaki şeritte buldukları pozisyonu bozmadan kavşağa girip, terk etmektedirler. Bu, bir sonraki

yaklaşımına ait giriş kapasitesini arttırmakla beraber, kavşağın etkin kullanılmadığını da göstermektedir. Üç şeridin etkin olarak kullanımı, ancak çok büyük trafik hacimlerinde mümkün olmaktadır.

Kavşaklarda anaakım içindeki sürücülerin, yanyol akımındaki sürücülere yol vermelerine sık rastlanmıştır. Bu davranış, Türk sürücülerinin "dönel kavşaklarda geçiş önceliği, kavşak içindeki araca aittir" kuralını bilmediklerini gösteren önemli bir bulgudur.

Yapılan gözlemler, birden fazla dönüş şeridi bulunması durumunda her şerit için ayrı " α " ve " Δ " değerleri hesaplayarak kavşak kapasitesinin bulunmasının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu araştırmacıya şeritler arasındaki etkileşim hakkında daha iyi bir fikir edinebilmesi için de olanak sağlamaktadır.

Hesaplar sonucunda yeni bir " α " bağıntısı elde edilmeye çalışılmış ancak sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Bulunan α bağıntısı, diğer bağıntılarla karşılaştırıldığında, daha yüksek değerler vermektedir (Şekil 6.8). Fakat, R^2 değerinin ve buna bağlı olarak korelasyon katsayısının düşük olması bağıntının kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Bağıntının diğer α bağıntılarından daha yüksek sonuçlar vermesi, Türk sürücü davranış farklılığını ortaya koymaktadır.

Çalışmada, ağır araç etkisi hakkında kısaca durulmuş ancak hesaplarda dikkate alınmamıştır. Özellikle kent içi otobüs sayısının fazla olması, ana arterler üzerinde oluşturulacak dönel kavşaklar hakkında daha detaylı çalışma yapılmasını gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

- Akçelik, R., (1998). Roundabouts: Capacity and performance analysis. *ARRB Research report ARR 321*, Vermont, Australia.
- Akçelik, R., (2003). "Speed-flow and bunching relationships for uninterrupted flows." 25th Conference of Australian Institute of Transportation Research (CAITR 2003), University of South Australia, Adelaide, Australia.
- Akçelik, R. and Chung, E., (1994). Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways. *Road & Transport Research*, 3, 42-59.
- Alphand, F., Noelle, U. and Guichet, B., (1991). *Roundabouts and road safety, Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany, 107-125.
- Ashworth, R. and Field, J.C., (1973). The capacity of rotary intersections. *The Journal of the Institution of Highway Engineers*, 3, 14-21.
- Aydemir, T. ve Tanyel, S., (2005). Çok şeritli dönel kavşaklar üzerinde OD matrisinin etkisi, 6. Ulaştırma Kongresi, 23-25 Mayıs, İstanbul.
- Blackmore, F.C., (1963). Priority at roundabouts. *Traffic Eng. & Control*, 5,104-106.
- Brilon, W., Gromann, M. und Blanke., H., (1993). Verfahren für die berechnung der leistungsfähigkeit und qualität des Verkehrsablaufes auf straen. *Forschung Strabenbau und Strabenverkehrstechnik 669*, Bochum, Deutschland.
- Cowan, R. C., (1975). Useful headway models. *Transportation Research*, 9, 371-375.

Çelik, F., (1987). *Denetimsiz eşdüzey kavşak sisteminin simülasyonu ve taşıt gecikmelerinin formüle edilmesi*. Doktora Tezi. İ.T:Ü: Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

DMRB, (1993). *Design Manual for Roads and Bridges*.

Drew, D. R., (1968). *Traffic flow theory and control*. McGraw & Hill, New York.

Fisk, C. S., (1991). *Traffic Performance Analysis at Roundabouts*, New Zeland.

Flannery, A., Elefteriadou, L., Koza, P. and McFadden, J., (1998). Safety, delay and capacity of single-lane roundabouts in the United States. *Transportation Research Record, 1646*, 63-70.

Fricker, J., Gutierrez, M. and Moffet, D., (1991). Gap acceptance, wait time and risk aversion at unsignalized intersections, *Intersections Without Traffic Signals II*, 297-307, Bochum, Germany.

Gedizlioğlu, E., (1979a). *Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem*, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Gedizlioğlu, E., (1979b). *Kentiçi eşdüzey kavşak kullanımına toplu taşıma araçları yönünden bir yaklaşım*, Ankara Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü 2. Toplu Taşıma Kongresi, Aralık 3-7, Ankara, Türkiye.

Gerlough, D. L., Huber, M. J., (1975). *Traffic flow theory*. *Transportation Research Board Special Report 165*, Washington D.C., USA.

Granville, W. A., Smith, P. F. and Longley, W.R. (1959). *Diferansiyel ve İntegral Hesap*. Şirketi Mürettibiye Basımevi, çev. N. İskender, İstanbul.

- Haight, F. A., (1963). *Mathematical models for traffic flow*. Academic Press, New York.
- Hagring, O. (1996a). Roundabout entry capacity, Bulletin 135. *Department of Traffic Planning and Engineering*, Lund.
- Hagring, O. (1996b). The use of Cowan M3 distribution for modelling roundabout flow. *Traffic Engineering & Control*, 37(5), 328-332.
- Hagring, O., (1998). Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity, Bulletin 159. *Department of Traffic Planning and Engineering*, Lund.
- Hamed, M. M., Easa, M. S., Batayneh, R. R. (1995). Disaggregate gap-acceptance model for unsignalized T-intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 36-42.
- Highway Capacity Manual. Special Report (1994). Washington, D.C.
- Highway Capacity Manual. Special Report (2000). Washington, D.C.
- Inose, H. and Hamada, T. (1975). *Road traffic flow*, University of Tokyo, Tokyo.
- Janssens, R. (1994). Evaluating the performance of a roundabout. *CEEC's Training Seminar on Road Development and Safety for Managerial Staff from Central and Eastern European Countries*. October 3-14, Brussels, Belgium.
- Kimber, R. M., (1980). The traffic capacity of roundabouts. *TRRL Laboratory Report 942*, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK.

- Kerényi, L. S., (1998). *A comparison of a traffic signal controlled junction and a roundabout solution at the Sluppen Bridge junction in Trondheim.* B.Sc. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Kutlu, K., (1991). *Trafik Tekniği*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Lassaree, S. and Lejeune, P., (1991). Gap acceptance and risk analysis at unsignalized intersections. *Intersections Without Traffic Signals II*, 258-269, Bochum, Germany.
- Luttinen, R. T., (1996). Statistical analysis of vehicle time headways. *Teknillien korkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu, Otaniemi.*
- Luttinen, R. T., (1999). Properties of Cowan M3 headway distribution. *Transportation Research Board 1999 Annual Meeting Preprints, TRB.* Washington D.C., USA.
- Luttinen, R. T., (2004). Capacity and level of service at Finnish unsignalized intersections. *Finnish Road Administration, Helsinki.*
- May, A.D., (1990). *Traffic flow Fundamentals.* Printince Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Millard, R. S., (1971). Roundabouts and signals. *Traffic Engineering & Control*, 13(1), 13-15.
- Ouston, L. and Bared, J.G., (1995). Roundabouts, Public Roads. *Turner Fairbank Highway research Center.* Mclean, Viginia, USA.
- Plank, A.W. (1982). The capacity of a priority intersection. *Traffic Engineering and Control* 23 (2).

- Richter, T. und Hüsken, Bernd., (1996). Einsatzkriterien für Kreisverkehrsplätze außerhalb bebauter Gebiete. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 757, Bochum, Deutschland.
- Seim, K., (1991). Use, design and safety of small roundabouts in Norway. *Intersections Without Traffic Signals II*, 270-281, Bochum, Germany.
- Setti, J. R. And Demarchi, S. H., (1996). Assessing heavy vehicle impacts on operation of rural at-grade intersections in Brazil. *Transportation Research Record*, 1555, 83-90.
- Simon, M., (1991). Roundabouts in Switzerland-recent experiences, capacity, Swiss roundabout guide. *Intersections Without Traffic Signals II*, 41-52, Bochum, Germany.
- Statens, V., (1995). CAPCAL model description. Four parts: intersection without traffic signals, signalized intersections, roundabouts, economic costs. *Report 1995: 007E-1995:010E*. Borlange, Sweden.
- Stuwe, B., (1991). Capacity and safety of roundabouts in Germany. *Intersections Without Traffic Signals II*, 1-12, Bochum, Germany.
- Sullivan, D. P. and Troutbeck, R., (1994). The use of Cowan's M3 distribution for modeling urban traffic flow. *Traffic Engineering & Control*, 35(7/8), 445-450.
- Taekratok, T. (1998). Modern Roundabouts for Oregon. *Oregon department of Transportation Research Unit*. Salem, Oregon.
- Tanner, J.C., (1962). A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection. *Biometrika*, 49(1-2), 163-170.

- Tanner, J.C., (1967). The capacity of uncontrolled intersection. *Biometrika*, 54(3-4), 163-170.
- Tanyel, S., Şengöz, B. and Varlıorpak, Ç., (2000). Composite headway distributions and their applicability in Turkey. *Advances in Civil Engineering Vol.4*, 1657-1666, Gazimağusa, Northen Cyprus.
- Tanyel, S., (2001). *Türkiye 'deki dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi*. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Tanyel, S. ve Yayla, N. (2003). A discussion on the parameters of Cowan M3 distribution for Turkey. *Transportation Research Part A* 37, 129-143.
- Trinadha Rao, V. ve Rengaraju, V. R. (1994). Probabilistic model for conflicts at urban uncontrolled intersection. *Journal of Transportation Engineering*, 81-84.
- Troutbeck, R., (1991). Unsignalized intersections and roundabouts in Australia: recent developments. *Intersections Without Traffic Signals II*, 238-257, Bochum, Germany.
- Troutbeck, R., (1992). Changes to the analysis and design of roundabouts initiated in the AUSTROADS guide. *16th ARRB Conference*, 16(5), 245-261, 245-261. Sydney, Australia.
- Troutbeck, R. and Brilon, W., (1995). 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.
- Troutbeck, R., (1997). A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters. *Traffic Engineering & Control*, 38(11), 600-603.

- 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.
- Troutbeck, R., (1998b). Background of HCM section on analysis of performance of roundabouts. *Transportation Research Record, 1646*, 54-63.
- Yayla, N., (2004). *Karayolu Mühendisliği*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Wallwork, M.J., (1997). Modern roundabouts. *Roundabout Design Workshop*, March 23, Montpelier, Vermont.
- Webster, F. V. and Blackmore, F. C., (1968). Improving road capacity. *Science Journal*, August, 69-74.
- Webster, F. V. and Newby, R. F., (1964). Research into the relative merits of roundabouts and traffic-signal-controlled intersections. *Proc. Inst. Civil Eng.*, 27, 47-76.