

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TÜRKİYE'DEKİ DÖNEL KAVŞAKLARIN ÇEVRESEL
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RREZEARTA SİMİTÇİU

BALIKESİR, AĞUSTOS - 2015

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TÜRKİYE'DEKİ DÖNEL KAVŞAKLARIN ÇEVRESEL
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RREZEARTA SİMİTCİU

BALIKESİR, AĞUSTOS - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Rrezearta SİMİTÇIU tarafından hazırlanan “**TÜRKİYEDEKİ DÖNEL KAVŞAKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 11.08.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy~~ ~~çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof.Dr.Turgut ÖZDEMİR



Üye
Prof.Dr. Serhan TANYEL



Üye
Yrd.Doç.Dr. Ayşe TURABI



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**TÜRKİYE'DEKİ DÖNEL KAVŞAKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
RREZEARTA SİMİTÇİU
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TURGUT ÖZDEMİR)
BALIKESİR, AĞUSTOS - 2015**

Kavşakların çevresel etkileri, son yıllarda önemli araştırma konularından birisi durumuna gelmiştir. Benzin ve motorin kullanan motorlu taşıtların çıkardığı egzoz gazlarında bulunan zararlı maddelerin trafiğin yoğun olarak yaşandığı kent merkezlerinde çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar oldukça fazladır.

Geleneksel kavşaklar, araçları yavaşlamaya ve/veya değişik şekillerde durmaya mecbur eder ki (örneğin, ışıklı kavşaklarda kırmızı ışıkta kavşak boş olsa dahi araçlar durmak zorunadır), bu durmalar sebebiyle emisyon artışı meydana gelir. Dönel kavşakların en önemli özelliği ise, taşıtlarından kavşağa giriş yapabilmelerine olanak tanınmasıdır.

Çalışmada, tek şeritli dönel kavşakların çevresel etkileri üzerinde durulmuştur. Çalışma sonucunda, dönel kavşak içindeki engelleyici akımların, çevre kirliliği açısından ana etken olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, kavşağın dıştan dışa çapının artması durumunda, çevresel etkisinin azaldığı; dolayısıyla geometrik özelliklerin değiştirilmesi ile trafik kaynaklı çevresel etkilerin azaltılabileceği bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER:Dönel Kavşaklar, Geometrik Parametreleri, Çevre Faktörü, yakıt tüketimi

ABSTRACT

**EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACT OF ROUNDABOUTS IN
TURKEY
MSC THESIS
RREZEARTA SİMİTÇİU
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR:PROF. DR. TURGUT ÖZDEMİR)
BALIKESİR, AUGUST 2015**

Recently, impact of the environment at the crossroads has taken an important role in terms of research. The engines of vehicles that use gasoline and oil, with the gases released in the environment, the irnegative effect with damaging compound, in center sand an important part of the city where traffic is overloaded, for the environment and human health they are harmful.

Traditional crossroads where vehicles are forced to slowdown, and in other cases to stop (at the crossroads with traffic lights, when thered light shows even when crossroad is empty, vehicles are forced to stop). From such cases the value of the mission increases. The main specialty of roundabouts is the easy ability of vehicles to access the crossroads. On this work we particularly worked on oneline crossroads and their impact on environment.

In the end of the work, we understood that inside of roundabouts conflicting flow (conflicting volume), is one of the main key of creating environment emission. But also do to outside diameter enlargement of the round, influence of environment will decrease, in the other words, by changing geometric parameters at roundabouts; the negative factors in environment can decrease.

KEYWORDS:Roundabouts, Geometric Parameters, Environment Factor, fuel consumption

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAVŞAKLAR	3
2.1 Kavşak Türleri	4
2.1.1 Eşdüzey kavşaklar	4
2.1.1.1 Eş düzey kavşak tipleri	4
2.1.2 Farklı seviyeli (düzeyli) kavşaklar.....	5
2.1.3 Dönel kavşaklar	7
3. DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTELERİNİ ETKİYEN DEĞİŞKENLER	12
3.1 Geometrik Parametreler	12
3.2 Trafik Akım Parametreleri.....	15
3.2.1 Ana Akım.....	16
3.2.1.1 Yaklaşımın Önündeki Ana Akımın.....	17
3.2.1.2 Dönen Akımın Birleşme Manevralarına Bağlı Olarak Düzeltilmesi	17
3.2.1.3 Aynı Koldan Çıkan Akımının Etkisi.....	17
3.2.2 Hız.....	18
3.2.3 Ağır Araç Oranı	18
3.2.4 Yayalar.....	19
4. DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTE HESAP YÖNTEMLERİ	20
4.1 Regresyon Modelleri.....	21
4.2 Kritik Aralık Kabulü Yöntemi	24
5. DÖNEL KAVŞAKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ	31
6. MODEL KURGUSU VE ANALİZLER	39
6.1 Türkiye’deki Tek Şeritli Dönel Kavşakların Kapasitelerinin Belirlenmesi 40	
6.2 Kavşakların SIDRA Intersection Programında Modellenmesi.....	50
6.3 Dönel Kavşakların Çevresel Etkilerinin İrdelenmesi	56
6.4 KKER yönteminin açıklaması	63
6.4.1 NIPALS ve PLS-KERNEL Algoritmaları.....	65
6.4.1.1 NIPALS Algoritması (Non-Linear Iterative Partial Least Squares) ...	65
6.4.1.2 PLS-KERNEL Algoritması.....	66
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
8. KAYNAKLAR	77

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Esdüzey kavsak tipleri (Yayla, 2000).	5
Şekil 2.2: Bazı farklı düzeyli kavşak tipleri	7
Şekil 2.3: Dönel kavşaklarda dikkate alınan geometrik elemanlar (Taekratok, 1998).....	9
Şekil 2.4: Dönel kavşak yaklaşımı (Taekratok, 1998; Tanyel, 2001).	11
Şekil 3.1: Kullanılan geometrik parametrelerin gösterimi (Hagring, 1996).....	13
Şekil 4.1: Tanyel ve Yayla (2010) tarafından önerilmiş olan regresyon analizine dayalı bağıntıların karşılaştırılması.	23
Şekil 4.2: Kritik aralık kabulü (Hagring, 1996a).....	24
Şekil 5.1: Benzin kullanan otomobiller için CO emisyon faktörleri, g/km.....	33
Şekil 5.2: Benzin kullanan otomobiller için NOx emisyon faktörleri, g/km.....	33
Şekil 5.3: SIDRA tarafından kullanılan sürücü döngüsü modelinin grafiksel gösterimi (Akcelik ve Besley, 2002).....	34
Şekil 5.4: Tek şeritli dönel kavşakların tipik hızları (Coelho v.d. 2006).....	35
Şekil 5.5: CO Emisyon uzaysal dağılımı (Coelho v.d.; 2006).....	35
Şekil 5.6: Coelho v.d. (2006) tarafından yapılan gözlemler sonucunda Hız profili I, II ve III'ün görülme sıklıkları	36
Şekil 5.7: Qc değerinin, emisyon salımı üzerindeki etkisi (Coelho v.d.; 2006).....	37
Şekil 5.8: Seyir hızının yakıt tüketimi ve emisyon salımı üzerindeki etkisi (Coelho v.d.; 2006)	38
Şekil 6.1: Gözlenen ve hesaplanan kapasite değerlerinin karşılaştırılması	45
Şekil 6.2: α bağıntılarının karşılaştırılması	45
Şekil 6.3: Çalışma kapsamında oluşturulan kavşak örneği.	46
Şekil 6.4: Örnek Excel veri giriş tabloları	47
Şekil 6.5: SIDRA'daki kavşak adlandırması	51
Şekil 6.6: SIDRA'daki dönel kavşak verileri	52
Şekil 6.7: SIDRA'daki talep verileri	54
Şekil 6.8: SIDRA'daki gecikme sonuçları.....	55
Şekil 6.9: Regresyon analiziyle çevre faktörü hesabı	56
Şekil 6.10: Yakıt tüketimi için karşılaştırma	60
Şekil 6.11: CO ₂ salımı için karşılaştırma.....	61
Şekil 6.12: CO salımı için karşılaştırma	61
Şekil 6.13: HC salımı için karşılaştırma	62
Şekil 6.14: NOx salımı için karşılaştırma.....	62
Şekil 6.15: Yakıt için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması	69
Şekil 6.16: CO ₂ için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması	70

Şekil 6.17: CO için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması	71
Şekil 6.18: HC için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması	72
Şekil 6.19: NOx için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması	73

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Değişik modeller için parametrelerin kullanım ve önem dereceleri (Hangring,1996).	12
Tablo 3.2: Dönel kavşakların kapasite analiz yöntemlerinde kullanılan trafik akımı parametreleri (Hangring,1996a).	16
Tablo 4.1: Cowan M3 dağılımı kullanılması durumunda kavşağa girebilecek.....	30
Tablo 6.1: Tanyel v.d. (2007) tarafından gözlem yapılmış olan kavşakların özellikleri.....	41
Tablo 6.2: Regresyon analizi için kullanılan veri tablo örneği	43
Tablo 6.3: Regresyon analizi sonuç tablosu.....	44
Tablo 6.4: A yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu	48
Tablo 6.5: B yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu.....	49
Tablo 6.6: C yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu.....	49
Tablo 6.7: D yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu	50
Tablo 6.8: Yakıt tüketimi, emision ve maliyeti.....	57
Tablo 6.9: ÇF parametresinin “1” alınması durumunda elde edilen sonuçlar	58
Tablo 6.10: ÇF parametresinin kalibre edilmiş (ölçeklendirilmiş) değerlerinin kullanıldığı analizlerden elde edilen sonuçlar	59
Tablo 6.11: Yakıt için KKER Yöntemi Sonuçları	69
Tablo 6.12: CO ₂ için KKER Yöntemi Sonuçları	70
Tablo 6.13: CO için KKER Yöntemi Sonuçları.....	71
Tablo 6.14: HC için KKER Yöntemi Sonuçları.....	72
Tablo 6.15: NO _x için KKER Yöntemi Sonuçları	73

SEMBOL LİSTESİ

Q_e : Kavşağagirebilecek (dönen akım)maksimum araç sayısı (araç/saat);

Q_c : Dönen araç sayısı (araç/saat);

Q_s : Çıkış genişliği;

F ve f_c : Geometri ve trafik akımına bağlı parametrele;

W_a : Yaklaşım kolunun yarı genişliği;

W_e :Yaklaşım kolunun ağızında kavşak kenarında ölçülen açıklık;

W_c : Dönüş bandı genişliği;

W_s : Ayırıcı ada genişliği;

R :Giriş yarıçapı

ϕ : Giriş açısı

l :Yaklaşım kolunun ağız gölgesinde ortalama etkin genişleme uzunluğu

D_c : Kavşağın yarıçapı (m);

D_e : Dıştan dışa çap;

Q_c : Dönen akım (araç/saat);

Q_s : Çıkış genişliği;

Q_g : Eşdeğer engelleyici trafik akımı;

Q_{mt} : Çok şeritli durum kapasitesi;

Q_c : Dönen akım;

Q_e : Tek şerit için hesaplanan kapasite;

B : Düzeltme faktörü;

A ve Z : Gözlemlerle bağlı olarak belirlenen diğer parametreler;

n_e : Giriş şeridi sayısı;

n_c : Dönüş şeridi sayısı;

N_e : Giriş şeridi sayısı

ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında her konuda bana destek olan danışmanım Prof. Dr. Tugut ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tez çalışması ile yapılan Türkiye'deki Dönel Kavşakların Çevresel etkileri büyük katkıları olan Prof. Dr. SerhanTANYEL'e ve bana destek olan herkese teşekkür ederim.

Agustos - 2015, Balıkesir

1. GİRİŞ

20. yüzyılın başından günümüze doğru yaklaşık 100 yıl boyunca büyük bir hızla artış gösteren taşıt sayıları, gerekse hız ve yolculuk mesafeleri beraberinde sorunları da getirmiştir (Tanyel, 2001).Dünyada gelişmiş ülkelerde bu sorunların giderilmesi amacıyla uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Ulaşım sistemlerinin daha etkin ve güvenli hale getirilmesine yönelik önlemler, bu ülkelerde sorunların en alt seviyeye indirgenmesi açısından önemli bir aşama kaydedilmesini sağlamıştır (Tanyel, 2001).

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 projelendirilmesi bu amaca yönelik çözümlerdendir (Tanyel, 2001).Uzun yıllar boyunca Türkiye'nin trafik sorununun tek çözümü olarak ışıklı sinyalizasyon sistemleri görülmüş ve yapılan az sayıdaki kavşak çalışmaları da bu sistemler üzerinden yapılmıştır. Kontrolsüz kavşaklar üzerinde ise çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Tanyel, 2001).

İlk örnekleri İngiltere'de görülmeye başlanan yeni tip dönel kavşaklar ise özellikle 1980'li yıllardan itibaren Avrupa'da, Amerika'da sık kullanılan çözüm olarak kendini göstermeye başlamıştır. Bunun önemli sebebi olarak kavşaklarda meydana gelen ölümlü kazaların sayısında bu tip kavşaklarda büyük azalmalar görülmesi ve yüksek kapasiteye sahip olmaları gösterilebilir (Tanyel, 2001).

Kavşakların çevresel etkileri, son yıllarda önemli araştırma konularından birisi durumuna gelmiştir.Benzin ve motorin kullanan motorlu taşıtların çıkardığı egzoz gazlarında bulunan zararlı maddelerin trafiğin yoğun olarak yaşandığı kent merkezlerinde çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar oldukça fazladır. Genellikle kent merkezlerindeki karbonmonoksit (CO) emisyonlarının %43,9'undan, azotoksit (NOX) emisyonlarının %41,0'inden, hidrokarbon (HC) emisyonlarının %26,2'sinden ve havada asılı partikül madde (PM10) emisyonlarının %16,4'ünden motorlu karayolu taşıtları sorumludur (EEA, 2007; Elbir v.d., 2008).

Geleneksel kavşaklar, araçları yavaşlamaya ve/veya değişik şekillerde durmaya mecbur eder ki (örneğin, ışıklı kavşaklarda kırmızı ışıkta kavşak boş olsa dahi araçlar durmak zorunadır), bu durmalar sebebiyle emisyon artışı meydana gelir (S. Mandavilli v.d., 2006). Dönel kavşakların en önemli özelliği ise, taşıtlarından kavşağa giriş yapabilmelerine olanak tanınmasıdır. Geleneksel hemzemin kavşaklardaki çevre kirletici emisyon salımları üzerine çok sayıda çalışmış yapılmıştır. Günümüzde, aaSIDRA programı ve bazı benzetim programları kullanılarak dönel kavşaklar için de emisyon salımı üzerine analizler yapılması mümkün olsa da, konu ile ilgili literatür oldukça sınırlıdır.

Çalışmada, Türkiye'deki dönel kavşakların çevresel etkileri irdelenmiş; özellikle yakıt tüketimi ve emisyon salımı üzerinde etkili parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. KAVŞAKLAR

Kavşaklar, kent içi veya kent dışı karayollarında araç ve yaya trafiğinin çakıştığı bölgelerde yapılan mühendislik yapılarıdır. Kavşaklar, araç ile aracın ve/veya araç ile yayaların iki, üç veya daha fazla yol ile kesiştiği yerlerde; trafik akımının sürekliliğinin kesilmesi, emniyet, hız ve kapasitenin azalması, durma, gecikme ve taşıt işletme maliyetlerinin artması gibi olumsuzlukların giderilmesi amacıyla yapılan bir mühendislik yapısıdır ve yolun bir parçası olarak görev yapmaktadır (Tunç, 2003).

Yolun performansı, güvenlik, hız, işletme maliyeti ve kapasite gibi özellikler, kavşakların tasarımına bağlıdır. Kavşaklar iki veya daha çok karayolundaki doğrusal veya kesişen trafik akışlarını kapsadığı gibi, bu yollar arasındaki dönüş hareketlerini de içerir. Bu hareketler, kavşak tipine bağlı olarak, çeşitli geometrik tasarımlar ve trafik kontrolü ile sağlanır (Akmaz, 2012).

Kavşaklar sadece ana ve tali caddelerdeki taşıt ve yaya akımını kontrol altında tutmazlar, aynı zamanda yakınında bulunan kavşakların hizmet seviyelerini de etkilerler. Bir kavşağa girebilen ve bu kavşağı geçebilen taşıt trafiği miktarı; şerit sayısı, tipi ve genişliği gibi kavşak giriş platformunun özelliğine, sürücünün tecrübe ve hareketleri üzerinde etkisi olan çevre koşullarına, trafik akımının karakteristiklerine ve trafik kontrol tedbirlerine bağlıdır (Yalgın, 1975).

Kavşakların düzenlemesi söz konusu olunca, aşağıdaki hususların göz önüne alınması gereklidir (Sonuç, 1975):

- Farklı yönden gelen taşıtların çarpışmasını önlemek,
- Kavşağı kullanacak farklı yöndeki trafiğin birbirini engellemelerini en aza indirmek, yani hızlanma ve frenlemeden doğacak yakıt ve zaman kaybının toplamını en aza düşürmek,
- Farklı yöndeki trafiklere güvenlik ve yeterli geçiş süresi sağlamaktır.

Kavşaklar genel olarak trafik yoğunluğu az olan yollarda “hemzemin (eş düzey) kavşaklar”, trafik yoğunluğu fazla olan veya tam erişme kontrollü yollarda “farklı düzeyli (seviyeli) kavşaklar” olarak düzenlenirler (Tunç, 2003).

2.1 Kavşak Türleri

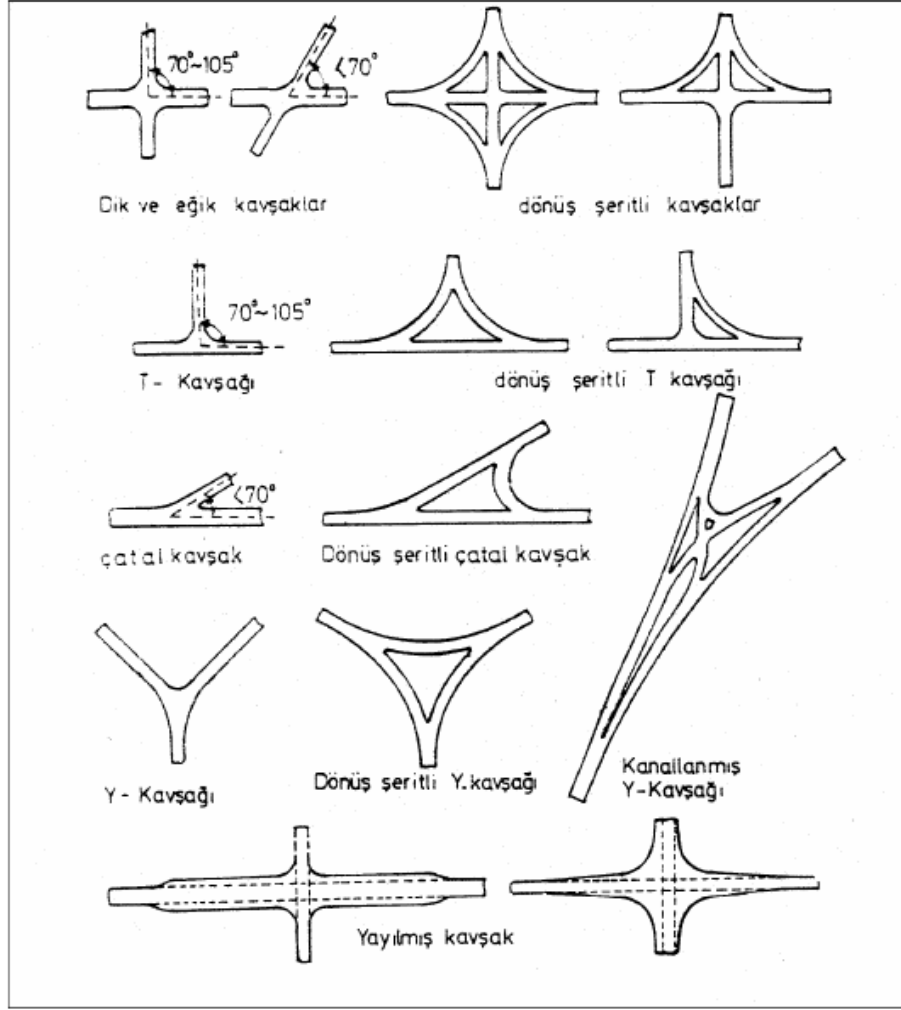
2.1.1 Eşdüzey kavşaklar

Farklı yönlerdeki trafik akımlarının ortaklaşa kullandıkları yol alanına “eş düzey kavşak” denir. Bir yol üzerindeki kavşakların farklı düzeyli tipten planlanıp yapılması, maddi olanakları çok yüksek olan ülkelerde bile zordur ve ekonomik de olmayabilir. Dolayısıyla gerek kent içi ve gerekse kırsal yollarda kavşakların çoğunun eş düzey tipten planlanmasında zorunluluk vardır. Eş düzey kavşaklar, kavşağı oluşturan yolların sayısı ile bu yolların birleşme şekillerine yani geometrik durumlarına, ayrıca kavşaktaki denetim tarzına göre çeşitli tiplere ayrılırlar (Yayla, 2002).

2.1.1.1 Eş düzey kavşak tipleri

Eş düzey kavşakların sınıflandırılması; faaliyet alanı, şekil ve kanalizasyon durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Eş düzey kavşaklar;

- Kol sayısına (geometrik durumlarına) göre, Şekil 2.1 gösterilmektedirler:
 - Üç kollu eş düzey kavşaklar (T veya Y kavşaklar)
 - Dört kollu eş düzey kavşaklar
 - Çok kollu eş düzey kavşaklar
- Trafik kontrol sistemine (denetim tarzına, işletme özelliğine) göre:
 - Sinyalize (denetimli) kavşaklar
 - Sinyalize olmayan (denetimsiz) kavşaklar
- Kapasiteyi artırmak amacıyla, işaretleme veya adalar ile yapılan yönlendirmeye (kanalize veya tesis durumuna) göre:
 - Kanalize edilmiş kavşaklar
 - Kanalize edilmemiş kavşaklar olarak sınıflandırılırlar (Akmaz, 2012).



Şekil 2.1: Esdüzey kavşak tipleri (Yayla, 2000).

2.1.2 Farklı seviyeli (düzeyli) kavşaklar

Farklı seviyeli kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun bir veya daha çok sayıda farklı düzeyde kesişme ve birleşmesiyle teşkil edilirler (Akmaz, 2012). Otoyollar gibi giriş kontrollü hız yollarında, alınan çeşitli önlemlere rağmen kazaların veya trafik sıkışıklığının azaltılamadığı eş düzey kavşaklarda, taşıt ve yolcu gecikmeleri ile kazaların sebep olduğu ekonomik kayıpların büyük olduğu yerlerde ve topoğrafik koşullar nedeniyle eş düzey kavşağın daha zor ve pahalı olacağı yerlerde farklı düzeyli kavşak kullanımı zorunlu ve uygun olmaktadır (Yayla, 2002).

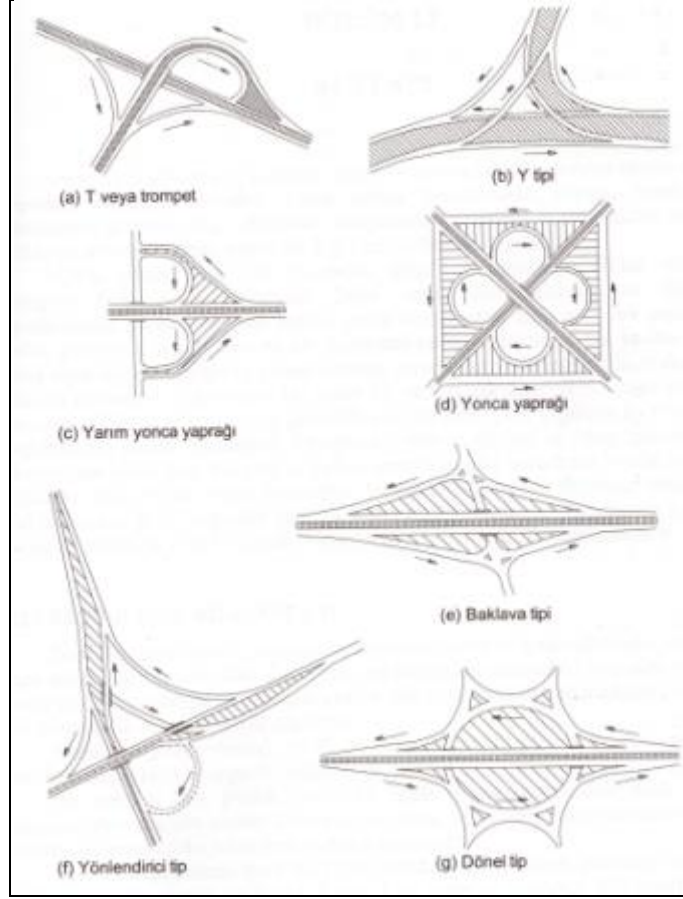
Farklı seviyeli kavşaklar; yonca (tam veya yarım), rotari (dönel), trompet, diamond (baklava tipi), yönsel ve tek nokta şehir içi olarak sınıflandırılmaktadır.

Farklı seviyeli kavşakların tasarımında en önemli husus kavşak tipinin seçimidir. Kavşak tipinin seçimi trafik mühendisinin deneyimi ve yargısına dayansa da;

- Kesişen yolların önemi ve fonksiyonu,
- Trafiğin hacmi, kompozisyonu ve karakteri,
- Tasarım hızı, kapasite ve servis seviyesi, erişme kontrol derecesi,
- Topografya ve zemin koşulları, arazi kullanımı ve nüfus yoğunluğu,
- Kamulaştırma, yapım maliyeti ve bütçe,
- Kesişen kollar üzerindeki mevcut veya planlanan kavşak tipleri ile uyum,
- Kamu beklentileri veya belirli grupların baskıları,
- Aciliyet, kademeli inşaat, çevre uyumu, estetik vb. zorunluluklar,
- Fayda/maliyet, geri kazanım süresi, iç karlılık oranı v.b. göstergeler,
- Konfor, zaman kazancı, kazaların azalması, vb. girdiler

gibi hususların detaylı olarak etüt edilmesi gerekir(Tunç, 2003).

Farklı düzeyli kavşaklarda, taşıt trafiğinin kavşaktan kesişmeden rahatça geçmesinin temin edilmesinin yanısıra yaya trafiğinin de iyice etüt edilerek emniyete alınması ve yeteri kadar park yerlerinin ayrılması, kavşak planlamasında önemli diğer hususlardandır (Kutlu,1993). Şekil 2.2’de farklı düzeyli kavşak tipleri sunulmuştur.



Şekil 2.2: Bazı farklı düzeyli kavşak tipleri

2.1.3 Dönel kavşaklar

Çalışma kapsamında, Türkiye’deki dönel kavşakların çevresel etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle bu bölümde, dönel kavşaklarla ilgili daha detaylı bilgi verilmesi uygun görülmüştür.

Tanım olarak dönel kavşaklar merkezi bir trafik adası etrafında trafiğin saat yönünün tersi istikamette ya da saat yönünde (kullanılan şerite göre) hareket ettiği yönlendirilmiş kavşaklardır (Janssens, 1994; Tanyel, 2001). Dönel kavşaklar, trafik akımının düzenlenmesinde aşağıdaki koşullarda uygun sonuçlar vermektedir (Oustron ve Bared, 1995; Stuwe, 1991; Tanyel, 2001):

- İş merkezi olmayan yerleşim bölgeleri;
- Merkez dörtten fazla kolun bağlanması durumu;

- Zonlar arası geçiş noktalarının düzlenmesi;
- Anayoldaki hızların düşürülmesi;
- Kaza açısından kara noktatrafik olarak belirlenmiş bölgelerde,
- Günlük veya mevsimlik değişikliklerinin sık görüldüğü kavşaklarda;
- Sola veya sağa dönüş hacimlerinin yüksek olduğu kesimlerde;
- Anayol üzerinde araç hacimin saatte 5000 aracı geçtiği kavşaklarda;
- evre düzenlemelerinde;
- Yüksek eğimlerde;
- İlk şeritli girişlerde fazla sayıda yaya trafiği olduğu bölgelerde;
- Ana yok ve tali yol arasında trafik yoğunluğu açısından büyük dengesizliklerin olduğu bölgelerde;
- Yeşil dalga ile projelendirilmiş hatlar üzerinde;
- Yüksek sayıda ağır araç ve toplu taşıma araçlarının bulunduğu kesimlerde;
- Dönel kavşağa yakın sinyalize kavşak bulunması durumunda;
- Dönel kavşak içerisinde parketmeeylemi olan bölgelerde.

Günümüzde zellikle Avrupa lkelerinde yeni hemzemin kavşakların dönel kavşak olarak inşası veya mevcut kavşak olarak tesis edilmesi yoluna gidilmektedir. Bunun nedeni olarak önemli kazalarda farkedilirazalamalar, kavşaklardan geçişte düşük hzların görülmesi; yüksek yaya akımlarının geçiş olanağı sağlamaları; trafik ışığı tesisine ihtiyaç kalmaması, bakım ve onarım masraflarının azalması gibi bir çok sebep gösterilebilir (Tanyel, 2001).

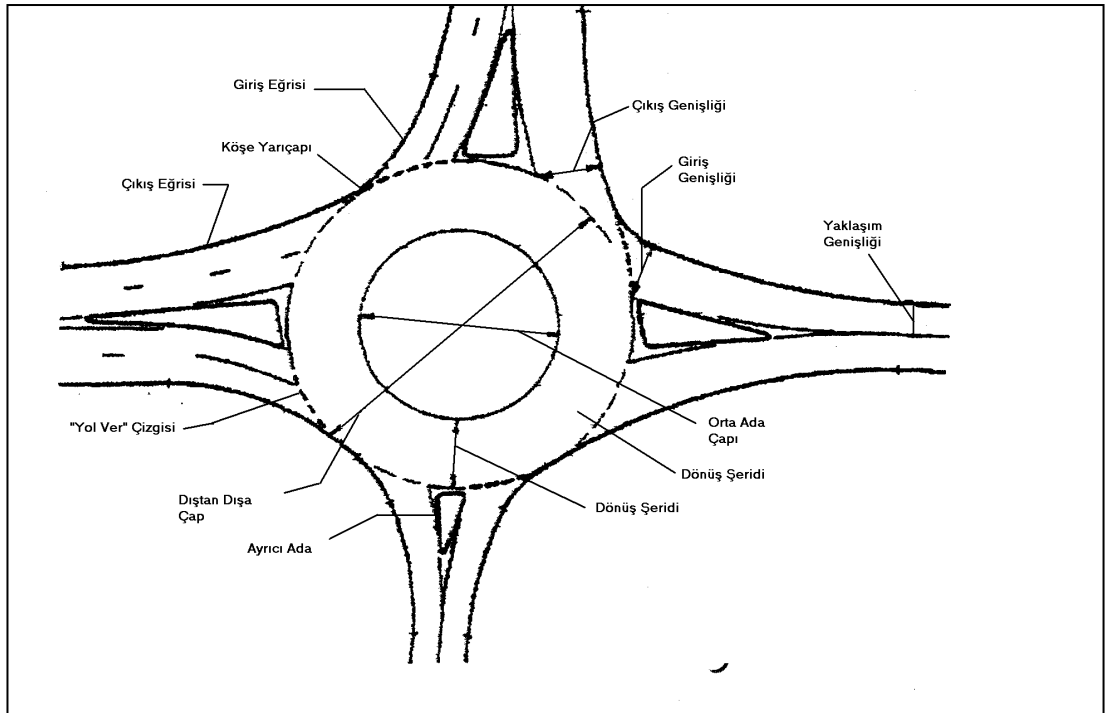
Türkiye’de dönel kavşaklar avrupadaki kadar olmamakla birlikte sık kullanılan hemzemin kavşak türleridir. Son yıllarda kullanılması artıran ve yeni dönemde artışı beklenen yapı türleridir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de trafik kazaları gecikme sürelerinin azaltıkları gözlenmekte ve yakıt tasarrufu sağladıkları kabul görmektedir.

Dönel kavşakların geometrik özellikleri, kavşak performansı üzerinde önemli rol oynamaktadır. 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 2.3'de, geometrik elemanlardan bazıları gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Dönel kavşaklarda dikkate alınan geometrik elemanlar (Taekratok, 1998).

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 (Tanyel, 2001).

Dönel kavşakların, özellikle trafik güvenliği açısından sağladığı en önemli farklılık, taşıtların seyir hızlarının düşmesini sağlamasıdır. Dünyada dönel kavşaklar, özellikle trafik hızının kontrolü amacıyla sıklıkla kullanılmaktadırlar (Tanyel ve Oylumluoğlu, 2011). Yapılan çalışmalar, dönel kavşaklarda taşıt hızlarının özellikle kavşak girişlerinde, 30 km/sa'e kadar düştüğünü göstermiştir (Tanyel, 2001).

Dönel kavşakların tasarımında diğer önemli bir husus ta, uygun görüş mesafesinin sağlanmasıdır. Yeterli görüş mesafesinin sağlanabilmesi için, aşağıdaki iki hususun dikkate alınması gerekmektedir:

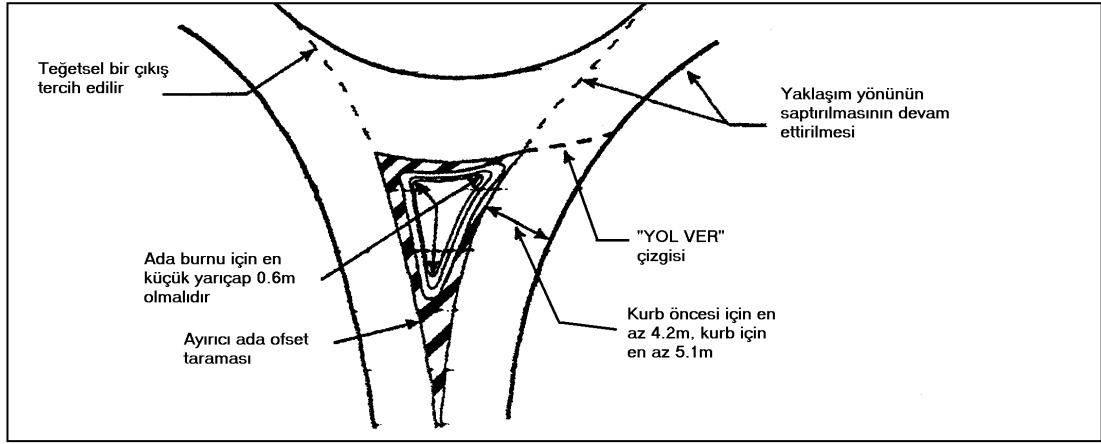
- 1) Kavşak yaklaşımları, kavşağa gelen sürücülerin ayırıcı ada, orta ada ve dönüş şeritlerinin rahatça görebilmelerini sağlayacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.
- 2) Duruş çizgisinde bekleyen bir sürücü, kendinden bir önceki yaklaşımdan giriş yapan araçların girişlerini, en azından kritik 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.

Dönel kavşakların tasarımında dikkate alınması gereken belki de en önemli parametre, orta ada çapıdır. Bu çapın, dönüş şerit sayısı ile birlikte ele alınması özellikle kapasite ve başarımlar hesaplarında sıklıkla tercih edilen bir yaklaşımdır (Tanyel ve Yayla, 2010). Orta adalar, mevcut alana bağlı olarak, etrafından dönülebilecek ve doğru geçiş yapan araçları saptırabilecek kadar büyük projelendirilmelidir (Tanyel, 2001).

Dönüş şeridi genişliği, düzgün bir hareket sağlanabilmesi için, giriş ve çıkış şeritlerinin genişliği ve sayısı, kavşağın genel durumuna bağlı olarak değişir (Taekratok, 1998). Dönüş şeridi genişliğinin genel olarak en büyük giriş şeridi genişliğinin "1" veya "1.2" katı olarak seçilmesi tercih edilir. 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).

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 (Tanyel, 2001). Örnek bir yaklaşım planı, Şekil 2.4'de verilmektedir:



Şekil 2.4: Dönel kavşak yaklaşımı (Taekratok, 1998; Tanyel, 2001).

Kavşak giriş ve çıkışlarında tasarlanacak olan ayırıcı adalar, sadece trafik güvenliği açısından değil, kavşak başarısının sağlanamsı açısından da önem taşımaktadır. Aslında ayırıcı adanın geometrik özellikleri, yanyoldan giren taşıtlarla kavşak içinde dönüş hareketinde bulunan taşıtların kesime açıları açısından da büyük önem taşımaktadır.

3. DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTELERİNİ ETKİYEN DEĞİŞKENLER

3.1 Geometrik Parametreler

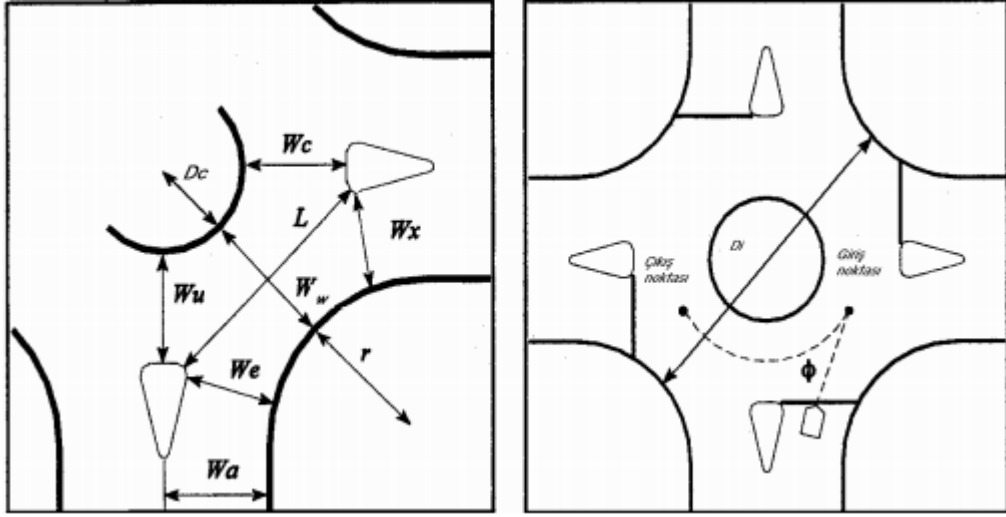
2. Bölümde de belirtildiği gibi, dönel kavşakların kapasite ve başarımlarının belirlenmesinde, geometric parametreler büyük önem taşımaktadır. Hagring (1996), farklı kapasite modellerinde, dönel kavşağa ait geometrik parametrelerin önem ve kullanım derecelerini tanımlamıştır (Tablo 3.1). Tablo’da çok önemli parametreler için (3), önemsiz parametreler içinse (1) değeri kullanılmıştır. Eğer modelde parametre ile ilgili bazı özel sınırlamalar yapılmışsa, ”SN” ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1’de verilmiş olan değerlerden girişte genişlemenin kesinlik derecesi (SN), 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 (Hangring, 1996).

Tablo 3.1: Değişik modeller için parametrelerin kullanım ve önem dereceleri (Hangring, 1996).

Model	W_e N_e	W_a	L	S	D_c	ϕ	W_s	D_i	$W_w N_c$	$W_c W_x$	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	SN			SN				
Fransız	3						2	3	3			
İsviçre 1	3							SN	3			
İsviçre 2	3							2	3			2
Alman	3								3			2

Tabloda W_e , g iriş genişliğini; N_e , giriş şeridi sayısını; W_a , yaklaşımın genişlemenin keskinlik dercesini; D_c , dönüş yarıçapını; Φ , kesişme açısını; W_s , giriş kolundaki ayırıcı ada genişliğini; D_i , kavşağın dıştan dışa çapını; W_w , örülme alanının genişliğini; N_c , dönüş şeridi sayısını; W_x , çıkış genişliğini; L , örülme alanının uzunluğunu ve dc ise giriş ve çıkış noktaları arasındaki uzaklığı ifade etmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Kullanılan geometrik parametrelerin gösterimi (Hagring, 1996).

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 (ingiliz) Modeli gösterilebilir (Tanyel, 2001).

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. Bu artışın, araç kompozisyonuna, sürücü davranışına ve diğer geometrik parametrelere bağlı olarak değiştiği gözönünde bulundurulmalıdır. Türkiye’de 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 (Tanyel, 2001).

Her ne kadar az sayıda olsa da, kavşakta dönüş harekesinde bulunan taşıtlar kadar, kavşak kolundan çıkan taşıtlarında yanyol kapasitesi üzerinde etkili olduğu söylenebilir (Simon, 1991). Kavşağa girmek isteyen sürücü, aynı koldan çıkan bir aracın yoluna devam edip etmeyeceği konusunda teredüte düşebilir. Bu büyük oranda, ayırıcı ada genişliğinin büyüklüne ve kavşağın dıştan dışa çapına bağlıdır. Türkiye’de Tanyel (2001), iki nokta arasındaki mesafe ve dıştan dışa çap değerlerin yanı sıra, dönüş alanı genişliği ve dönüş şeridi sayısı ile akımlar arasındaki kesişme açısının da kavşaktan çıkan taşıtların yanyol kapasitesi üzerinde etkili olabileceğini söylemiştir.

Kavşağın dıştan dışa çapı, Bölüm 2.2’de de belirtildiği gibi, özellikle giren ve çıkan arasındaki etkileşimlerin yanı sıra, kavşak içinde meydana gelebilecek kuyruk oluşumun da dikkate alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Aslında bu değerlerin etkisi, orta ada çapına bağlıdır. Orta ada çapının büyük olması, kavşağa giren araçların yönünün saptırılması açısından önem taşımaktadır. Yönü saptıların 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 (Tanyel, 2001). Diğer yandan, dönüş şeridi ve sayısı incelendiğine, şu şekilde bir tabloyla karşılaşılmaktadır (Tanyel, 2001):

1. Kavşaklarda dönüş şeridi sayısı, giriş 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 kısmını iki şerit halinde hareketlerine devam etmektedirler).
2. Kavşağın dıştan dışa çapı büyük olsa bile orta adanın küçük olması, giren araçların yönlerini fazla saptırılmaması sonucunu doğrulamaktadır. Orta ada çapı büyüdükçe ve buna bağlı olarak dönüş şeridi genişliği daraldıkça, 3.1’de 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.

Kesişme açısı CAPCAL yönteminde büyük önem taşımasına rağmen, TRRL yönteminde çok az bir etkiye sahiptir. Diğer yöntemlerde ise hiç dikkate alınmamaktadır. Bu kesişme açısının önemli bir parametre olmadığı sonucu 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 küçülümekte, daha doğru bir değişle ana akım geçişi için zorlamaya (gapforcing) başlamaktadır. Bu ise “prioritysharing” adı verilen, geçiş hakkı paylaşımı durumunu çıkarmaktadır (Tanyel, 2001).

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 akım değerleridir. Özellikle dönen akımın tarifinde bazı zorluklar görülmektedir. Bu tamamen, gözlem yapılan ülkedeki sürücü davranışlarına bağlı bir olgudur. Ağşada bu değişkenler, ayrı ayrı ele alınarak incelenmeye çalışılacaktır.

Tablo 3.2: Dönel kavşakların kapasite analiz yöntemlerinde kullanılan trafik akımı parametreleri (Hangring,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 önemli parametreler 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 (Hangring 1996).Bu kavram içerisinde birden fazla olgu barındırabilir. Aynı koldan çıkan araç sayısı, en uzak 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 Akımın

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 eksikler 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 Düzeltmesi

Dönen akım içerisindeki araçların manevralarının, giren akım kapasitesi üzerinde etkiliği olabileceği düşünülmektedir. Özellikle CAPCAL yönteminde taşıtların kesişme ve birleşme manevralarına bağlı olarak bazı düzeltme katsayıları önerilmektedir. Her manevra için farklı kritik aralık kabul değerleri hesaplanmaktadır. Burada etkili olan bir diğer parametre, kesişme açısıdır. Araçlar ne kadar büyük açılara 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 Akımının 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 geliştirmiştir. 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.

Türkiye’de sürücü davranışının, aynı koldan çıkan araçların dikkate almadığı ilk planada 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 akımın, giren akım üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. (Bu kavşaklarda kavşağa giren araçlar, sağa dönmek zorunda bırakılmaktadırlar. 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 kusurun, 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 kapasitelerinin üzerinde de önemli etkileri olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle trafik mühendisleri, ağır araçları birim oto cinsinden ifade etmeye ve bu şekile etkilerine daha somut ve gerçekçi biçimde yaklaşmaya çalışmışlardır. Genel olarak ağır araçlar (otobus 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.

3.2.4 Yayalar

Aslında bu başlık altında yayaların yanı sıra, bisiklet ve motosiklet sürücülerin de incelemesi kapsamına alınması gerekmektedir. TRRL yönteminde, bisiklet ve motosiklet trafiğinin yoğun olduğu dönel kavşaklarda ayrı kapasite hesapları önerilmektedir (Jansses, 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 veya trafiğinden etkilenecektir. Bu sebeple, yaya trafiğinin de mutlak surete 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 önerilmiştir. Avustralya SIDRA yönteminde ise, kavşak içinde kavşağa giren akımı kesecek şekilde bir yaya trafiği verilmektedir.

Çalışmada, gözlem yapılan kavşakların bazı kollarında, yayalar için uyarımalı 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.

4. DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTE HESAP YÖNTEMLERİ

Dönel kavşakların kapasitesi, büyük oranda yanyol katılım kolunda yer alan şerit sayısıyla, dönüş şeridi sayısına bağlıdır. Ancak TRL (Transportation Research Laboratory) yönteminde, daha çok sayıda geometric değişken kullanılmıştır.

Dönel kavşaklar hem ortalama hem de kuyrukta durma gecikmeleri azaltılarak, tüm araçların kavşağa girebilmesine olanak sağlar. Dönel kavşakların kapasiteleri, doğru tasarlandıkları takdirde, sinyalize kavşaklara oranla daha yüksek olabilir. Dönel kavşakların en önemli özelliklerinden birisi, dörtten fazla kolun bağlanması durumunda bile yüksek başarımlar gösterebilmeleridir (Tanyel, 2001).

Dönel kavşak kapasitesi üzerinde, çeşitli ülkelerde araştırmalar yapılmıştır. Bunlara örnek olarak, Fransız CETUR ve SETRA modelleri, İngiliz Transportation Research Laboratory (TRL) yöntemi; Avustralya SIDRA yöntemi ve Amerika Birleşik Devletleri Yolların Kapasitesi 2010 (Highway Capacity Manual, 2010), yöntemleri gösterilebilir (Tanyel, 2001; Akçelik, 1998; TRB, 2010). Bu yöntemlere dayanan Arcady, Rodel, SIDRA Intersection gibi paket programlarda bulunmaktadır.

Kapasite Drew tarafından 1968 yılında 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 olabilese de özellikle kavşaklarda görülen daha karmaşık durumlarda kapasiteyi etkileyici unsurlarda bulunmaktadır. Kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında iki ana yöntemden söz edilmektedir.

- Geometrik yöntem,
- Davranışsal yöntem,

Geometrik yöntem zirve saatlerde dönel kavşağa giren ve kavşakta dönüş hareketini yapan araçlar arasında etkileşimi inceler. Yöntemin uygulamasında regresyon parametre değerlerine bağlı geometrik parametrelerle ilişkilendirilmesine

çalışılmaktadır. Geometrik parametrelere örnek olarak şerit sayısı, yuvarlak ada çapı, dönelkavşağa bağlanan kol sayısı gibi unsurlar gösterilebilir. Davranışsal yöntemde ise kavşağın geçiş hakkına sahip dairesel bir tek yönlü yola bağlanan “T” şeklinde kavşaklardan oluştuğu kabul edilmektedir. Bu sürücü davranışı ve kritik aralık teorisine dayanan klasik kavşak teorisinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır (Tanyel, 2001). Ancak son yıllarda bu yaklaşım terk edilmiş; kavşak bir bütün olarak ele alınmak suretiyle analizler yapılmaya başlanmıştır (Akçelik, 1998).

Geometrik yönetime bağlı anlamlı bir kapasite hesabı için incelenen kolda yarım saat boyunca sürekli kuyruk olması gerekmektedir. Bu durum dışında yapılan regresyon analizlerinde anlamlı sonuçlar çıkmamaktadır. Bu nedenle davranışsal yöntem kullanılmaya yoluna gidilmektedir. Davranışsal yöntemin en önemlisi kritik aralık kabulü metodudur. Bu yönetime alternatif regresyon modelleri ve kritik aralık kabulü modelleri bulunmaktadır.

4.1 Regresyon Modelleri

Davranışsal yönetime alternatif olarak regresyon modellerini öne sürülmüştür. Bu yöntemin amacı değişik trafik akım parametreleri ve geometrik elemanlar arasındadır ilişki aramaktır. Bu yöntemle yapılan en önemli çalışmalar İngiliz, Alman ve Fransız yöntemleridir. Bu yöntemler esas alınarak İsviçre, Norveç gibi ülkelerde regresyona dayalı analiz yöntemleri geliştirilmiştir (Tanyel, 2001). Bu yönetime göre bir şeridin kapasitesi aşağıdaki bağıntı kullanılarak bulunabilir:

$$Q_e = F - f_c * Q_c \quad (4.1)$$

Burada;

Q_e : Kavşağagirebilecek maksimum araç sayısı (araç/saat);

Q_c : Dönen araç sayısı (araç/saat);

F ve f_c : Geometri ve trafik akımına bağlı parametrelerdir.

Regresyon analizine dayalı en bilinen yöntem, İngiliz TRL yöntemidir (Kimber, 1980). Kimber, kritik aralık kabulü yöntemine aşağıdaki eleştirileri getirmiştir:

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

TRL yönteminde, F ve f_c parametreleri aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$F = 303 * x_2 * k \quad (4.2)$$

$$f_c = 0.210 * t_D * k * (1 + 0.2 * x_2) \quad (4.3)$$

Bu iki denklemden değişkenler ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$k = 1 - 0.00347 * (\phi - 30) - 0.978 * (1/r - 0.05) \quad (4.4)$$

$$t_D = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{[(D_c - 60)/10]}} \quad (4.5)$$

$$x_2 = w_a + \frac{w_e - w_a}{1 + 2 * V} \quad (4.6)$$

$$V = 1.6 * \frac{w_e - w_a}{l'} \quad (4.7)$$

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

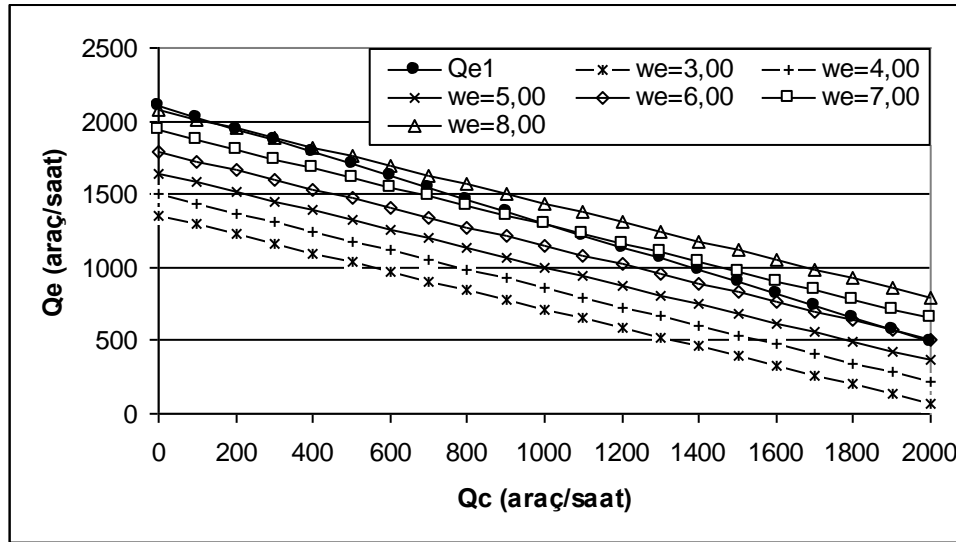
İngiliz kavşak kapasite hesabındaki bir sonraki aşama, kavşağın bütün kolları arasındaki etkileşimleri de dikkate alarak bir dengeleme yapmaktır. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için basit iterasyon yöntemleri veya doğrusal programlamaya dayalı algoritmaların kullanılması mümkündür (Akçelik, 1998; Tanyel ve yayla, 2010).

Tanyel ve Yayla (2010), regresyon analizi kullanarak, çok şeritli döne kavşaklar için aşağıdaki bağıntıları önermişlerdir:

$$Q_{e1} = 2107 - 0,81Q_c \quad (4.8)$$

$$Q_{e2} = 921 - 0,64Q_c + 145w_e \quad (4.9)$$

Elde edilen iki ampirik model, değişik giriş genişlikleri için karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere, giriş genişliği arttıkça yanyol kapasitesi de önemli oranda artış göstermektedir. (4.9) bağıntısı ise, yanyol giriş genişliğinin 6,00~8,00m olması koşullarında yakın değerler vermektedir (Tanyel ve Yayla, 2010):



Şekil 4.1: Tanyel ve Yayla (2010) tarafından önerilmiş olan regresyon analiziye dayalı bağıntıların karşılaştırılması.

Tanyel ve Yayla (2010) çalışmalarında, regresyon analizi yöntemi kullanılarak elde edilen bağıntıların, bazen daha basit ve kolay uygulanabilir

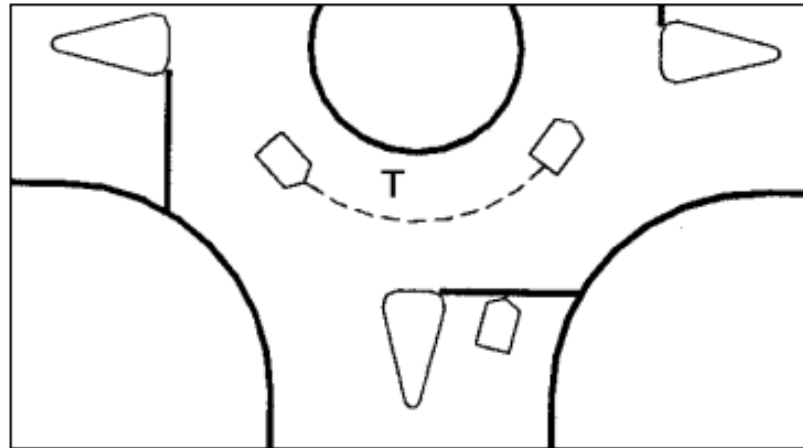
olduğunu belirtmiş; TRL yönteminin aksine, az sayıda geometrik değişken ve dönen akım oranına bağlı bir modelin oluşturulmasının hem güvenilirlik hem de uygulanabilirlik açısından daha uygun olacağını vurgulamışlardır.

4.2 Kritik Aralık Kabulü Yöntemi

Yan yoldan gelen sürücü ana akım içine ancak ana akımdan kendisi için güvenli gördüğü “ T ” gibi bir zaman cinsinden kritik aralık değerine eşit veya daha büyük bir aralık bulduğunda katılabilecektir. Kritik aralığın büyüklüğü mümkün olan en az gecikme için seçilen güvenli minimum zaman cinsinden aralık değeri olarak da ifade edilebilir (Tanyel ve Yayla, 2010).

Her sürücünün kabul ettiği aralık değeri birbirinden farklı olabilir. Bir sürücünün kabul ettiği aralık değerinden çok daha uzun bir aralık değerinin başka bir sürücü tarafından kabul edilmemesi sık görülen bir olaydır.(Gedizoğlu, 1979) Her sürücünün kabul ettiği aralık değeri o sürücünün yaşı cinsiyeti fiziksel durumu ve bunların yanında karakteri etkileri. Sürücüler arasındaki davranış farklılıkları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

- Eğer sürücü hep aynı aralığı kabul ediyorsa bu sürücünün davranışı tutarlı olarak tanımlanabilir. Aksi takdirde tutarsız sürücü olarak tanımlanabilir.
- Eğer sürücüler seçtikleri aralık değerleri bütün sürücüleri kapsayacak bir dağılıma aitse bu sürücüler homojen değilse homojen olmayan sürücüler olarak tanımlanabilir.(Hagring, 1998; Tanyel, 2001).



Şekil 4.2: Kritik aralık kabulü (Hagring, 1996a).

Bu açıklamalar ışığında sürücü davranışları dört şekilde modellernebilir.

- Homojen ve tutarlı: her sürücü kabul sabit bir aralık kabulüne sahiptir.
- Homojen ve tutarsız: sürücü durma çizgisine her geldiğinde dağılıma ait farklı bir aralık değeri seçmektedir.
- Homojen olmayan ve tutarlı: her sürücü kabul ettiği sabit bir aralık değeri vardır fakat bu aralık değerinin dağılımı bir sürücü grubu için ifade edilebilir.
- Homojen olmayan ve tutarsız: sürücülerin tutarsızlığına bağlı olarak her sürücü veya grup sürücü ayrı bir kritik aralık dağılıma sahiptir.

Yapılan çalışmalar homojen olmayan ve tutarsız sürücü davranışının gerçek olayları daha iyi karakterize ettiğini göstermiştir. Ancak bu tür davranışı modellemek çok zor olduğu için her davranış homojen ve tutarlı oldukları kabulüyle modellenmiştir (Tanyel, 2001). Hewitt kritik aralık değerinin belirlenmesinde üç zorlukla karşılaştığını belirtmiştir.

1-Kritik aralık 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 oranı birbirinin aynısı değildir. Buna dikkat edilmezse hesaplamalarda problemler çıkabilir.

3-Ana akımdaki araçlar arasındaki aralıkların dağılımına bağlı olmasıdır. Bu dağılımlar sağa çarpık olduklarından küçük aralıklar daha sık görülecektir. Bu da küçük aralıkların kabulü değerleri için daha sağlıklı gözlemler yapılabilecekken uzun kabul aralığına sahip sürücülere ait gözlem verilerinin yetersiz olabileceği sonucunu doğurmaktadır.

Yanyolda bulunan bir sürücü bir tek giriş aralığının kabul edecek ve kavşağa girecektir. Fakat aynı sürücü birden fazla aralığında reddedebilir. Bu durumda reddedilen aralıkların en büyüğünün dikkate alınması uygun olacaktır. (Tanyel, 2001; Gedizoğlu, 1979; Hagring, 1996a).

Kapasite analizlerinde, Kritik aralık değeri (T) ve yanyoldaki taşıtların en küçük takip aralığı değeri (T_0) olarak adlandırılan incelenmesi gereken önemli iki parametre vardır.

Troutbeck (1991), kavşak yaklaşımındaki şeritleri ayrı ayrı inceleyerek takip aralığı T_0 ve Taralık değerini hesaplama yoluna gitmiştir. Troutbeck en fazla akımın geçtiği şeridi baskın şerit olarak tanımlamıştır. Bu şeritteki takip aralığını öncelikli hesaplayarak kritik aralık kabulü değerini bulmayı amaçlamıştır (Tanyel, 2001).

$$T_{odom} = 3,37 - 0,000394Q_c - 0,0208D_i + 0,000089D_i^2 - 0,395n_e + 0,388 \quad (4.10)$$

Burada, D_c , dönen akımı (araç/saat);

D_e : Dıştan dışa çap;

n_e : Giriş şeridi sayısı;

n_c : Dönüş şeridi sayısını ifade etmektedir. Diğer şeritlerdeki takip aralığı değerleri (T_{osub}) ise aşadaki bağıntıdan hesaplanır:

$$T_{osub} = 2.149 + 0.5135T_{odom} \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} - 0.8735 \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} \quad (4.11)$$

Burada, Q_{dom} : Baskın şeritteki akım (araç/saat);

Q_{sub} : Diğer şeritteki akım (araç/saat);

Troutbeck (1991), kritik aralık değerinin takip aralığı değerine (T_0) dönen akımına (D_c), dönüş şeridi sayısına (n_c) ve ortalama giriş şeridi genişliği (w_e) bağlı olduğunu öne sürmüştür. Buna göre her şerite ait kritik aralık kabulü değeri, aşadaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$\frac{T}{T_0} = 3.6135 - 0.0003137Q_c - 0.3390w_e - 0.2775n_c \quad (4.12)$$

Akçelik (1998), dönel kavşaklar için Troutback'ın bulduğu kritik aralık kabulübağıntılarını kabul etmiştir. Ancak (4.12) bağıntısının dönen akım 1200 araç/saat' eşit veya daha küçük olması durumunda geçerli olabileceğini belirtmiş;daha yüksek dönüş hacimleri için, aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$T = (3.2371 - 0.32371 - 0.339w_e - 0.2775n_c) \quad (4.13)$$

Tanyel ve Yayla (2010), 4.10~4.13 bağıntılarının, Türkiye için kritik aralık kabul ve takip aralığı değerlerinin hesaplanmasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Troutbeck'in yönteminden farklı olarak İsveç CAPCAL yönteminde, kritik aralık kabulü değerinin belirlenmesindeki etkin parametreler olarak, örülme boyu (L) ve örülme genişliği (w_w) değerleri kullanılmıştır (Stattens, 1998). Ayrıca, sağa ve sola dönüş manevraları için bir diğer farklılık, her şerittiki manevralar (sağa veya sola dönüş veya doğru geçiş) için ayrı kritik aralık kabulü bulunmaya çalışmıştır (Tanyel, 2001). Buna göre:

Sağa dönen araçlar için:

$$T = 3,06 + 1,1 \frac{W_w}{L} + 2,375 \left(\frac{W_w}{L}\right)^2 \quad (4.14a)$$

Sola dönen ve doğru geçen araçlar için:

$$T = 3,06 + 2,6 \frac{W_w}{L} + 2,75 \left(\frac{W_w}{L}\right)^2 \quad (4.14b)$$

bağıntıları önerilmiştir. Burada, L : Örülme alanı boyu; W_w : Örülme alanı genişliğidir.

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

$$q_e = q_c \int_0^{\infty} f(t) \cdot g(t) dt \quad (4.15)$$

Burada $f(t)$, ana akımdaki aralıkların dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunu; $g(t)$, "t" aralığında yanyoldan kavşağa girebilecek araç sayısını, q_c , ana akım içindeki

araç sayısını (araç/saniye) ve q_e de yanyol giriş yapabilecek maksimum araç sayısını (araç/saniye) yani kapasiteyi ifade etmektedir (Troutbeck ve Brilon, 1995).

Bağıntıdan da anlaşılacağı gibi, kapasitenin hesaplanmasında kullanılan en önemli faktörlerden biri ana akım içindeki araçlara arasındaki zaman cinsinden aralıkların bir olasılık dağılım modeli ile tanımlanabilmesidir. Bu amaçla en sık kullanılan istatistiksel dağılımlar, negatif üstel, ötelenmiş negatif üstel, ve Cowan M3 dağılımlarıdır. Türkiye’de yapılmış çalışmalarda, özellikle Cowan M3 dağılımının kullanılabilirliği irdelenmiştir (Tanyel, 2001, Tanyel ve Yayla, 2010). Cowan M3 dağılımının olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir (Cowan, 1975):

$$\begin{aligned} F(t) &= 0 & t < 0 \\ &= 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{aligned} \quad (4.16)$$

Burada T , anaakım (dönen akım) içindeki serbest araç oranını; λ düzeltme katsayısını, T_0 ise birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değerini ifade etmektedir.

Çalışmada, Cowan M3 dağılımının parametrelerinin hesaplanması amaçlanmamış; parametreler hakkında genel bir bilgi verilmesi uygun görülmüştür. Cowan M3 dağılımı ve zaman cinsinden aralıkların modellenmesinde kullanılan dağılımlar hakkında Luttinen (1996, 1999), Sullivan ve Troutbeck (1994) ve Troutbeck (1997) tarafından hazırlanmış yayınların okunması tavsiye edilir.

Ana akımdaki zaman cinsinden aralık değeri (T), ana akımın tek şerit olması durumunda, 1,5 saniye ile 2,0 saniye arasında değiştiği kabul edilebilir. Tanyel (2001) çalışmasında " T " değerinin 1,5 ila 2,5 saniye arasında bir değer seçilmesinin uygun olacağını belirtmiştir.

Serbest araç oranı (α), değişik ülkeler, şehirler ve koşullar altında sürücü davranışlarında farklılıkları gösteren bir parametre olarak kabul edilebilir. Dawson ve Chimini'ye (1968) göre bir aracın serbest hareket eden araç olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

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

Diğer araçlar ise takip eden araçlar olarak adlandırılabilirler. Serbest araç oranı için farklı ülkelerde, farklı bağıntılar önerilmiştir. Türkiye için Çalışkanelli v.d. (2009) tek şeritli dönel kavşaklar için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

$$\alpha = 1,11 \quad 1,47 \quad \Delta \quad q_c \quad \Delta \quad q_c > 0,07 \text{ için} \quad (4.17)$$

$$\alpha = 1,0 \quad \text{Diğer koşullar için.}$$

" λ " katsayısı, bir azaltma faktörü olarak tanımlanmıştır. λ değeri aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\lambda = \frac{q_c \alpha}{1 - q_c \Delta} \quad (4.18)$$

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

Tablo 4.1: Cowan M3 dağılımı kullanılması durumunda kavşağa girebilecek

araç sayıları

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

Tablo 4.1'den yanyol kapasitesini veren ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$q_e = q_c (\alpha e^{-\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)}) + 2.q_c (\alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)} - \alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)}) + \dots \quad (4.19)$$

$$q_e = q_c \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)} + q_c \alpha e^{-2\lambda(T-\Delta)} + q_c \alpha e^{-3\lambda(T-\Delta)} + \dots \quad (4.20)$$

Bu ifade bir geometrik seridir. Yanyoldaki araçların birbirlerini " T_o " gibi bir aralıkla takip ettikleri kabul edildiğinde, iki aracın kavşağa girebilmesi için anayoldaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralığın " $T+2T_o$ ", üç aracın kavşağa giriş yapabilmesi için ise " $T+3T_o$ " olması gerekir. Bu durumda bağıntı (4.20)'de gerekli düzenlemeler yapıldığında anayolda tek şerit bulunması durumunda kapasite aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$q_e = \frac{q_c \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_o}} \quad (4.21)$$

Bu bağıntı, tek şeritli dönel kavşaklar için Troutbeck tarafından önerilen bağıntıdır. Çalışma kapsamında, Türkiye'deki dönel kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında, bu bağıntı kullanılacaktır.

5. DÖNEL KAVŞAKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Benzin ve motorin kullanan motorlu taşıtların çıkardığı egzoz gazlarında bulunan zararlı maddelerin trafiğin yoğun olarak yaşandığı kent merkezlerinde çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar oldukça fazladır. Genellikle kent merkezlerindeki karbonmonoksit (CO) emisyonlarının %43,9'undan, azotoksit (NOX) emisyonlarının %41,0'inden, hidrokarbon (HC) emisyonlarının %26,2'sinden ve havada asılı partikül madde (PM10) emisyonlarının %16,4'ünden motorlu karayolu taşıtları sorumludur (EEA, 2007; Elbir v.d., 2008).

Geleneksel kavşaklar, araçları yavaşlamaya ve/veya değişik şekillerde durmaya mecbur eder ki (örneğin, ışıklı kavşaklarda kırmızı ışıkta kavşak boş olsa dahi araçlar durmak zorunadır), bu durmalar sebebiyle emisyon artışı meydana gelir (S. Mandavilli;v.d., 2006). Dönel kavşakların en önemli özelliği ise, taşıtlarından kavşağa giriş yapabilmelerine olanak tanımasıdır. Geleneksel hemzemin kavşaklardaki çevre kirletici emisyon salımları üzerine çok sayıda çalışmış yapılmıştır. Günümüzde, AASIDRA programı ve bazı benzetim programları kullanılarak dönel kavşaklar için de emisyon salımı üzerine analizler yapılması mümkün olsa da, konu ile ilgili literatür oldukça sınırlıdır.

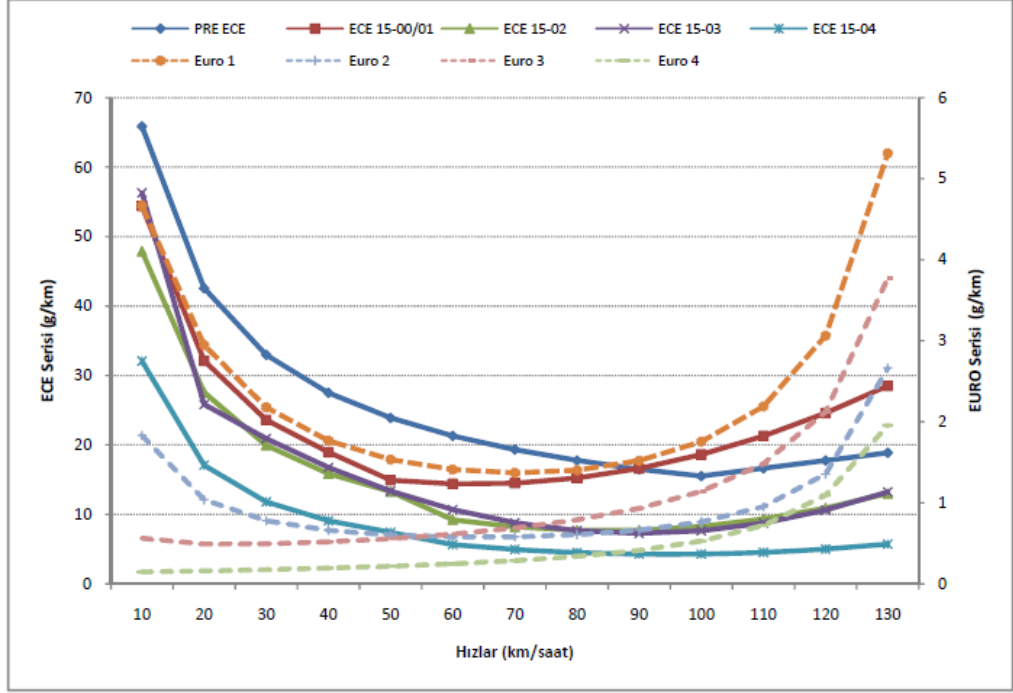
Dönel kavşaklar, sadece trafiğin hızını değil, aynı zamanda rölanti süresini de azaltarak emisyon, salımını ve yakıt tüketimini düşürüp, çevre üzerinde olumlu biretki yaratır. Insurance Institute for Highway Safety (İİHS)'e göre, durma süresini azaldıkça, yakıt tüketimi ve emisyon salımı da azalmakta; ayrıca trafik akımının düzenli olması gürültü kirliliğinde de iyileşme sağlamkatadır(Sirinvas Mandonli, 2006).

Barry (2001)ve Mutasem v.d. (2000) tarafından yapılmış olan çalışmalar, ışıklı (sinyalize) kavşaklarda taşıtların, dönel kavşaklara oranla daha fazla yakıt harcadıklarını bulmuşlardır. Trafik akımının düşük olduğu durumlarda bile, kırmızı ışıktaki beklemele sebebiyle çevresel etkilerin ışıklı kavşaklarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak, dönel kavşaklarda talebin çok yüksek olduğu durumlarda, uzun kuyruklar oluştuğundan emisyon salım miktarı ışıklı kavşaklardakine eşit duruma gelir.

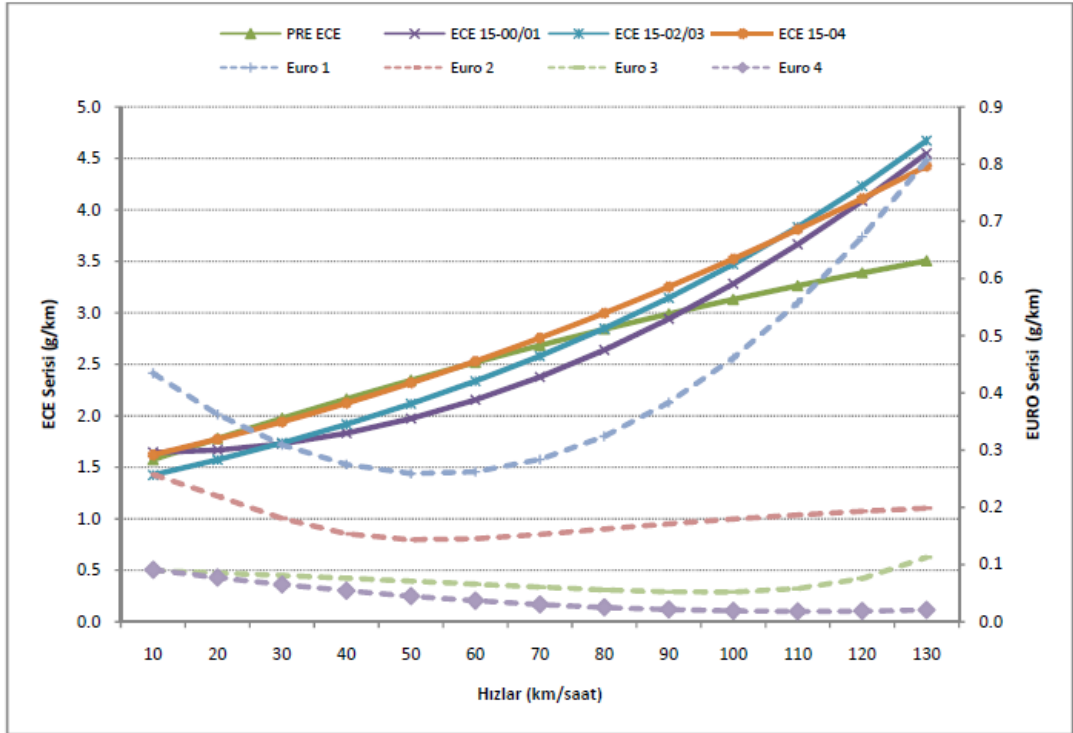
Barry (2001) ayrıca, kuyrukta bekleyen bir aracın “bekleme süresinde” (idling time) 10 mil/saat hızla hareket eden bir taşıta oranla yedi kat dahafazlaemisyonaydığını belirtmiştir. Aslında, yakıt tüketimi ve emsiyon salım değerleri, taşıtların kullandıkları yakıt türü (benzin, motorin v.b.), taşıt türü (otomobil, kamyon v.b.) ve hızlarına bağlı olarak değişmektedir (Elbir v.d., 2008). Emisyon faktörleri, araçların üretim yıllarına göre Avrupa Birliği tarafından yürürlüğe konmuş yönetmeliklerin kısaltma isimleri ile kodlanmaktadır. Bu kodlar orjinal isimleriyle ve her bir kodun hangi yıllara ait taşıtları kapsadığı aşağıda listelenmiştir:

- preECE 1971 ve öncesi
- ECE 15 00 & 01 1972 - 1977
- ECE 15 02 1978 - 1980
- ECE 15 03 1981 - 1985
- ECE 15 04 1986 - 1992
- EURO 1 1993 - 1997
- EURO 2 1997 - 1999
- EURO 3 2000 - 2004
- EURO 4 2005 ve sonrası.

Yukarıdaki taşıt kodları dikkate alınarak Elbir v.d. (2008) tarafından hızlara bağlı olarak benzinli otomobiller için CO ve NOx salım değerlerinin değişimi Şekil 5.1 ve 5.2’de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde CO emisyonunun, 60~80 km/saat aralığında en düşük değerine ulaştığı görülmektedir. NOx değeri ise, genel olarak hız arttıkça artmaktadır. Sadece Euro 4 tipi taşıtlarda, bu değer sürekli düştüğü görülmektedir.



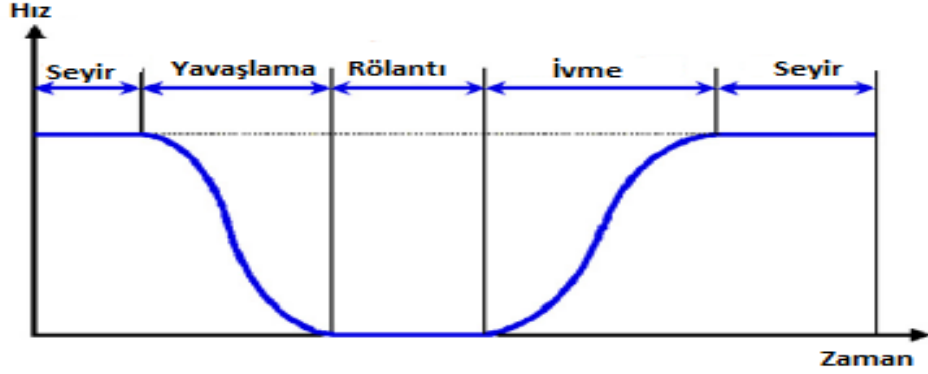
Şekil 5.1: Benzin kullanan otomobiller için CO emisyon faktörleri, g/km



Şekil 5.2: Benzin kullanan otomobiller için NOx emisyon faktörleri, g/km

Dönel kavşakların çevresel etkilerinin hesaplanmasında en çok kullanılan modellerden birisi olan SIDRA modelinde, dört modlu elemanter model

kullanılmıştır (Şekil 5.3). Diğer bir deyişle, bir taşıtın, normal seyahat süresi (cruise), yavaşlaması (deceleration) esnasında, durma süresi boyunca, hızlanma süresi (acceleration) süresince ve tekrar normal seyahat hızına erişmesi durumunda harcadığı yakıt miktarı ve emisyon salım değerleri hesaplanmaktadır. SIDRA, bu koşullar için yakıt tüketimi, CO₂, CO, HC ve NO_x salım değerlerini hesaplamaktadır.

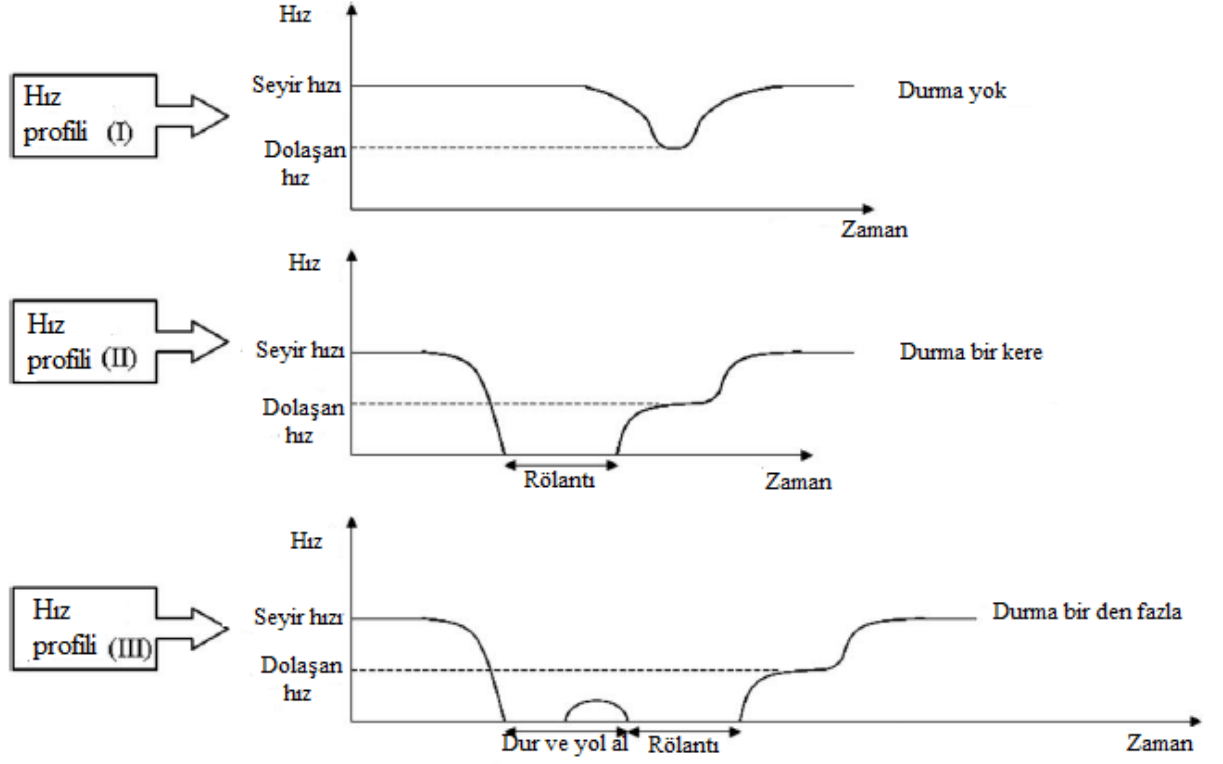


Şekil 5.3: SIDRA tarafından kullanılan sürücü döngüsü modelinin grafiksel gösterimi (Akcelik ve Besley, 2002).

Coelho v.d. (2006), tek şeritli dönel kavşakların çevresel etkileri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışma kapsamında, yakıt tüketimi ve emisyon salımı modellemesinde kullanılması amacıyla üç hız profili tanımlamışlardır (Şekil 5.4):

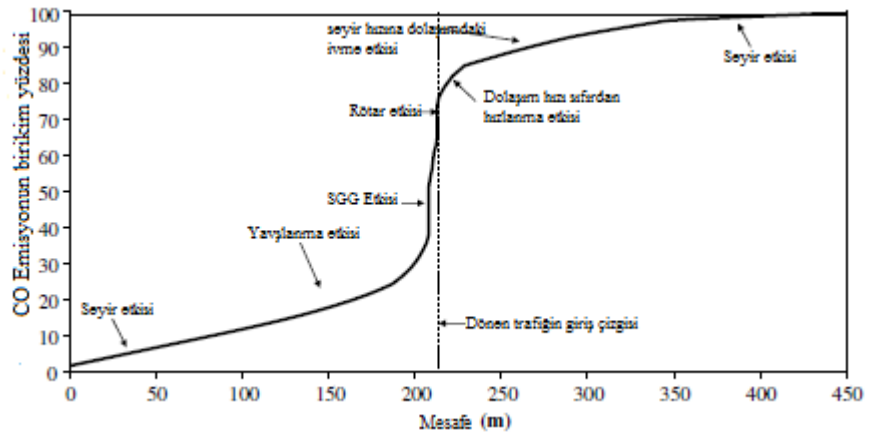
1. Yavaşlayarak (durmadan) kavşağa giriş yapan taşıtlara ait hız profili;
2. Sadece bir kez duran taşıtlara ait hız profili;
3. Birden fazla duruş yapmak zorunda kalan taşıtlara ait hız profili.

Bu hız profillerinin olumu ile ilgili gözlemler, özellikle üçüncü hız profiline sahip taşıt oranının, engelleyici akım oranı arttıkça arttığını göstermektedir ki, bu beklenen bir sonuç olmakla birlikte Baryy (2001)'nin bulgularıyla da örtüşmektedir (Şekil 5.5).

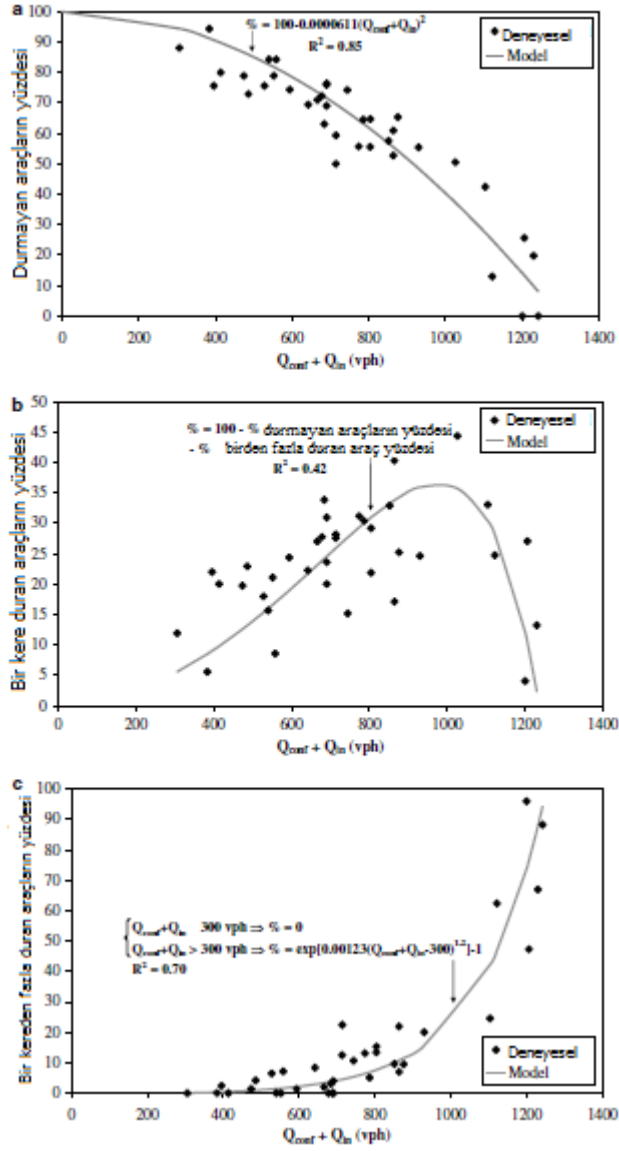


Şekil 5.4: Tek şeritli dönel kavşakların tipik hızları (Coelho v.d. 2006)

Coelho v.d. (2006) çalışmalarında, tek şeritli bir dönel kavşağı kullanan taşıtların CO salımları ile ilgili mesafeye bağlı değişimleri hesaplamışlar ve bir grafik üzerinde göstermişlerdir (Şekil 5.6). Şekilden de görüldüğü üzere, özellikle durma esnasında salım değeri önemli oranda artmaktadır.

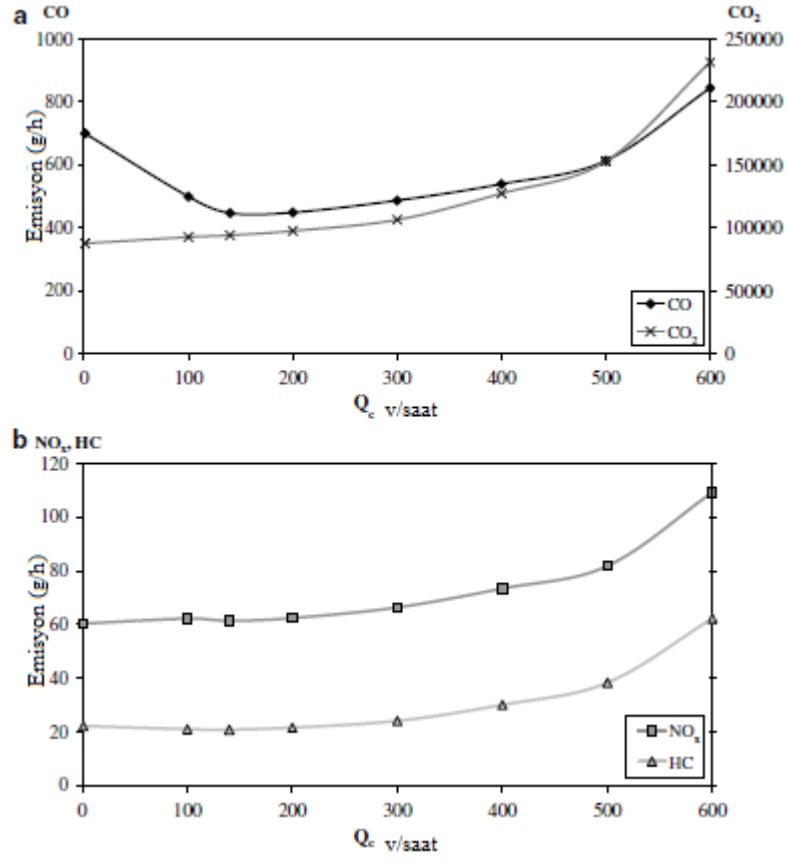


Şekil 5.5: CO Emisyon uzaysal dağılımı (Coelho v.d.; 2006).



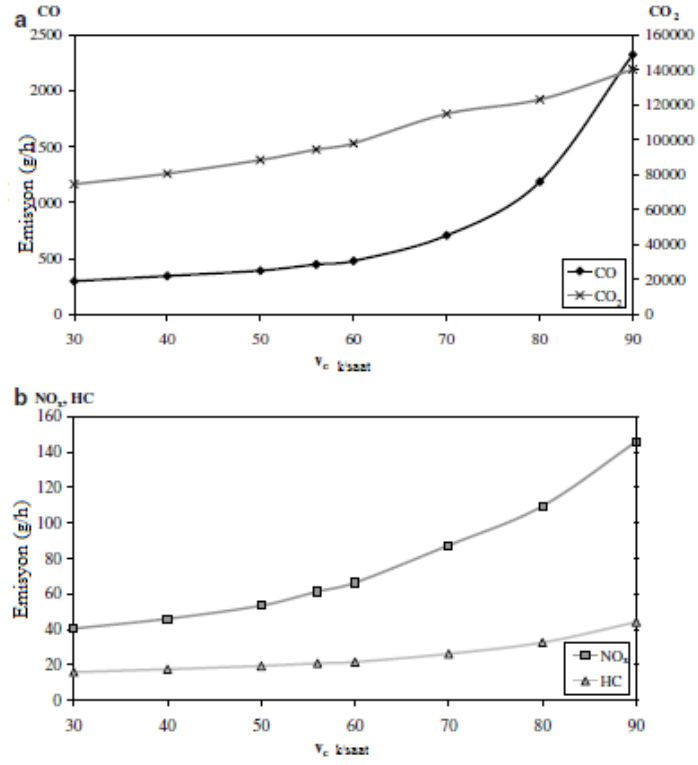
Şekil 5.6: Coelho v.d. (2006) tarafından yapılan gözlemler sonucunda Hız profili I, II ve III'ün görülme sıklıkları

Coelho v.d. (2006) çalışmalarının sonucunda, engelleyici akımın (Q_c) yakıt tüketiminde ve emisyon alımında en önemli etkenlerden birisi olduğunu bulmuşlardır. Engelleyici trafik akımı arttıkça, emisyon salım değerleri de artmaktadır (Şekil 5.7)



Şekil 5.7: Q_c değerinin, emisyon salımı üzerindeki etkisi (Coelho v.d.; 2006)

Yine Coelho v.d. (2006)'nın bulgularına göre seyir hızının çevre üzerinde önemli etkisi olduğu anlaşılmaktadır ki; bu Elbir v.d. (2008) tarafından da vurgulanmıştır (Şekil 5.8). Ayrıca, kavşak geometrisinin de etkisi üzerinde durulmuş; özellikle kesişme açısı değerinin değişimi ile yanyoldaki taşıtların kavşağa girişleri kolaylaştırılarak tek şeritli dönel kavşakların çevresel etkilerinin azaltılabileceği vurgulanmıştır.



Şekil 5.8: Seyir hızının yakıt tüketimi ve emisyon salımı üzerindeki etkisi (Coelho v.d.; 2006)

6. MODEL KURGUSU ve ANALİZLER

Çalışma kapsamında, Türkiye'deki dönel kavşakların çevresel etkileri üzerinde etkili olabilecek parametrelerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bir kavşağın çevresel etkilerinin hesaplanmasında, kavşağın yaklaşım kollarının ayrı olarak ele alınması yerine; kavşağın bir bütün olarak analizinin yapılması daha sağlıklı bir yaklaşım olarak kabul edilmelidir. Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, kavşağın başarımında (performansında) tüm yaklaşımlardan gelen trafik akımlarının birbirleriyle olan etkileşimleri rol oynamaktadır. Özellikle bir yanyol katılımının önünde yer alan engelleyici (dönen) trafik akımının karakteristikleri, incelenen yanyol katılımının geometrik özelliklerinin yanı sıra, diğer yaklaşım kollarının da özelliklerine bağlıdır.

Günümüzde, dönel kavşakların tüm yaklaşımlarını dikkate alan yöntemler içerisinde VISSIM, AIMSUN gibi benzetim (simülasyon) programlarının yanı sıra, RODEL, SIDRA gibi paket programlar da yer almaktadır. Çalışma kapsamında, aaSIDRA programının kullanılması uygun görülmüştür (programın özellikleri sonraki bölümlerde detaylı olarak anlatılacaktır). Ancak aaSIDRA programının Türkiye dönel kavşaklarının koşullarını yansıtabilmesi için kalibre edilmesi (ölçeklendirilmesi) gerekmektedir. Bu amaçla, Türkiye'de Tanyel v.d. (2004; 2007) tarafından yapılmış olan çalışmalarda kullanılan veri gruplarından yararlanılmış; bu veri grupları kullanılarak ana akım (engelleyici/dönen) yeni bir serbest araç oranı modeli geliştirilmiştir. Bu modelden yararlanılarak, Fisk (1991) tarafından geliştirilmiş olan analitik model yardımı ile üç sanal tek şeritli dönel kavşak oluşturulmuş, toplam 180 veri grubu rastgele türetilerek, kavşakların kapasiteleri hesaplanmıştır. Bu hesap sonuçları daha sonra aaSIDRA programının kalibrasyonunda (ölçeklendirilmesinde) kullanılmıştır.

Yukarıda kısaca açıklanan modelleme aşamaları aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır:

6.1 Türkiye'deki Tek Şeritli Dönel Kavşakların Kapasitelerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında tek şeritli dönel kavşakların kapasitelerinin hesaplanması için, detayları daha önceki bölümlerde sunulmuş olan, Troutbeck tarafından geliştirilmiş olan aşağıdaki bağıntının kullanılmasının uygun olacağı öngörülmüştür.

$$q_e = \frac{q_p \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (6.1)$$

Bağıntıda, “ α ” serbest araç oranını, Δ , anaakım (dönen) akıma ait en küçük takip aralığı değerini (saniye); T , yanyol sürücülerine ait kritik aralık kabul değerini (saniye), T_0 yanyoldan kavşağa giriş yapan taşıtlar arasındaki en küçük takip aralığı değerini (saniye), q_c , dönen trafik akımını (taşıt/saniye); q_e , yanyol kapasitesini (taşıt/saniye) ve “ λ ” ise bir küçültme katsayısını göstermektedir.

(6.1) bağıntısının ölçeklendirilmesi için, öncelikle kritik aralık kabulü ve yanyol en küçük takip aralığı değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Tanyel ve Yayla (2010) çalışmalarında, Troutbeck (1991) tarafından önerilmiş olan aşağıdaki bağıntıların kullanılabileceğini söylemişlerdir:

$$T_{0dom} = 3,37 - 0,000394Q_c - 0,0208D_i + 0,0000889D_i^2 - 0,395n_g + 0,388n_d \quad (6.2)$$

$$T_{osub} = 2,149 + 0,5135T_{0dom} \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} - 0,8735 \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} \quad (6.3)$$

$$T_i = (3,6135 - 0,0003137Q_c - 0,3390w_{gi} - 0,2775n_d)T_{0i} \quad (6.4)$$

Burada Q_c , dönen araç sayısını (araç/saat), D_i , kavşağın dıştan dışa çapını; n_g giriş şeridi sayısını; n_d , dönüş şeridi sayısını; T_{osub} , hakim olmayan (sub-dominant) şeritteki araçlar arasındaki minimum takip aralığı değerini (saniye); Q_{dom} , hakim şeritteki araç sayısını (araç/saat); Q_{sub} , diğer şeritteki araç sayısını (araç/saat); T_i , i 'inci

şeritteki (hakim veya hakim olmayan şeritteki) sürücülerin kritik aralık kabul değerini; w_{gi} , i 'inci şeridin genişliğini; T_{0i} ise i 'inci şeritteki sürücülere ait minimum takip aralığı değerini vermektedir. Çalışma kapsamında da, tek şeritli dönel kavşaklarda yanyol sürücüleri için bu bağıntıların kullanılması uygun görülmüştür.

Ölçeklendirme amacıyla kullanılacak bir diğer parametre ise, Cowan M3 dağılımına ait ve bağıntının en önemli parametrelerinden olan serbest araç oranı (α) değerinin belirlenmesidir. Serbest araç oranı (α) değeri hakkında önceki bölümlerde daha detaylı bilgi verilmiştir. “ α ” değeri için, literatürde (alan yazında) çok sayıda bağıntı önerilmiştir. Özellikle farklı ülkelerde, farklı bağıntıların kullanıldığı görülmektedir (Tanyel, 2001). Türkiye’de Çalışkanelli v.d. (2009) tarafından tek şeritli dönel kavşaklar için aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$\alpha = 1,11 - 1,47 * \Delta * q_c \quad \text{eğer } \Delta * q_c > 0,07 \text{ ise} \quad (6.5)$$

$$\alpha = 1 \quad \text{diğer koşullarda}$$

Çalışma kapsamında, incelenen yanyol katılıma ait geometrik parametreleri de içeren yeni bir gözlemlere dayalı (ampirik) bağıntının önerilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Tanyel v.d. (2007) tarafından kullanılmış olan veri gruplarından yararlanılması amaçlanmıştır. Tanyel v.d. (2007), İzmir’de yer alan altı tek şeritli dönel kavşak yaklaşımından elde ettikleri verilerden yararlanarak, Highway Capacity Manual (TRB, 2000) kapasite hesap yönteminin Türkiye’de kullanılabilirliğini irdelemiştir. Bu kavşaklara ait özellikler Tablo 6.1’de sunulmaktadır.

Tablo 6.1: Tanyel v.d. (2007) tarafından gözlem yapılmış olan kavşakların özellikleri

Kavşak adı	Arazi türü	Di (m)	we (m)
Alsancak, Gündoğdu	Konut/MİA*	20,0	4,75
Sanayi, Bornova	Sanayi	30,0	4,00
Ege Üniv. Rektörlük, Bornova	Konut	15,0	4,87
Soğukkuyu, Karşıyaka	Konut	15,0	3,34
Bostanlı, Karşıyaka	Konut	14,0	5,24
Hipodrom, Buca	Konut	20,0	3,23

*MİA, “merkezi iş alanı”nın kısaltması olarak kullanılmıştır.

Kavşaklardan toplanmış olan dakikalık sayım verilerinin yanı sıra, 10~25 dakikalık veri grupları halinde toplanmış; ana akıma ait zaman cinsinden takip aralığı verileri de analizlerde kullanılmıştır.

Serbest araç oranının belirlenmesi amacıyla, zaman cinsinden aralık verilerinin Cowan M3 dağılımına ait parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Literatürde (alan yazında), bu parametrelerin hesaplanması için üç ana yöntem önerilmiştir. Bunlar:

1. Momentler Yöntemi;
2. Maksimum Olabilirlik Yöntemi;
3. En Küçük Kareler Yöntemi'dir (Hagring, 1998).

Çeşitli çalışmalar incelendiğinde, maksimum olabilirlik yönteminin tercih edilmediği; en sağlıklı sonucu en küçük kareler yöntemi vermekle birlikte, momentler yönteminin de yaklaşık sonuçlar verebileceği belirtilmiştir (Tanyel, 2001; Hagring, 1998; Troutbeck, 1997). Çalışma kapsamında Momentler Yöntemi kullanılarak parametre hesapları yapılmıştır.

Momentler yönteminde, ortalama zaman cinsinden aralık değeri ile zaman cinsinden aralık değerlerinin varyansı kullanılmaktadır. Bu değerler daha sonra, gözlenen değerlere uygun bir Cowan M3 modeli oluşturabilmek için bulunan dağılımın ortalama ve varyansının gözlenen ortalama ve varyansla aynı olacak şekilde kabul edilirler. Ortalama zaman cinsinden aralık (M), trafik akımının tersi olarak kabul edilmektedir. Bu aşağıdaki formülde daha detaylı olarak açıklanabilir:

$$M = \frac{1}{q} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (6.6)$$

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

$$M = \Delta + \frac{\alpha}{\lambda} \quad (6.7)$$

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

$$V = \frac{\alpha(2-\alpha)}{\lambda^2} \quad (6.8)$$

Formül 6.7 ve 6.8 kullanılarak, gözlem verilerinden de yararlanmak suretiyle M ve V değerleri belirlendikten sonra, seçilen bir Δ değeri için λ ve α değerleri hesaplanabilir. Hesaplamalarda, Δ değeri 2 saniye olarak alınmıştır. Buna bağlı olarak elde edilmiş olan α değerleri, Δ^*q_c , D_i ve w_e parametreleri ile ilişkilendirilerek bir ampirik model elde edilmeye çalışılmıştır. Bunun için regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizinde kullanılan veri grubuna ait örnek tablo Tablo 6.2'de görülmektedir. Regresyon analizi sonuçları ise Tablo 6.3'te sunulmuştur.

Tablo 6.2: Regresyon analizi için kullanılan veri tablo örneği

Δ	D_i	W_e	Q_c	T	T_0	α
2	14	5.24	300	4.354126	2.971024	0.885913
2	14	5.24	360	4.264005	2.947384	0.83518
2	14	5.24	420	4.174775	2.923744	0.784447
2	14	5.24	240	4.445137	2.994664	0.936647
2	14	5.24	360	4.264005	2.947384	0.83518
2	14	5.24	300	4.354126	2.971024	0.885913
2	14	5.24	180	4.537037	3.018304	0.98738
2	14	5.24	300	4.354126	2.971024	0.885913
2	14	5.24	180	4.537037	3.018304	0.98738
2	14	5.24	300	4.354126	2.971024	0.885913
2	14	5.24	120	4.629828	3.041944	1.038113
2	14	5.24	240	4.445137	2.994664	0.936647
2	14	5.24	180	4.537037	3.018304	0.98738
2	14	5.24	360	4.264005	2.947384	0.83518
2	14	5.24	300	4.354126	2.971024	0.885913
2	14	5.24	240	4.445137	2.994664	0.936647
2	14	5.24	240	4.445137	2.994664	0.936647
2	14	5.24	180	4.537037	3.018304	0.98738
2	14	5.24	540	3.998982	2.876464	0.68298

Tablo 6.3 incelendiğinde, serbest araç oranının büyük oranda dönen trafik akımına bağlı olduğu görülmektedir. Bu, önceki modellerle de uyumlu bir sonuçtur. Ancak

elde edilen ampirik modelde, kavşağın çapının ve yanyol giriş şeridi genişliğinin de dönen akım içindeki serbest araç oranı üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Kavşak çapı büyüdükçe, serbest araç oranı da artmaktadır ki bu aslında beklenen bir sonuçtur. Yanyol şerit genişliğinin fazla olması da ana akımdaki serbest araç oranını artırıcı bir unsur olarak ortaya çıkmıştır.

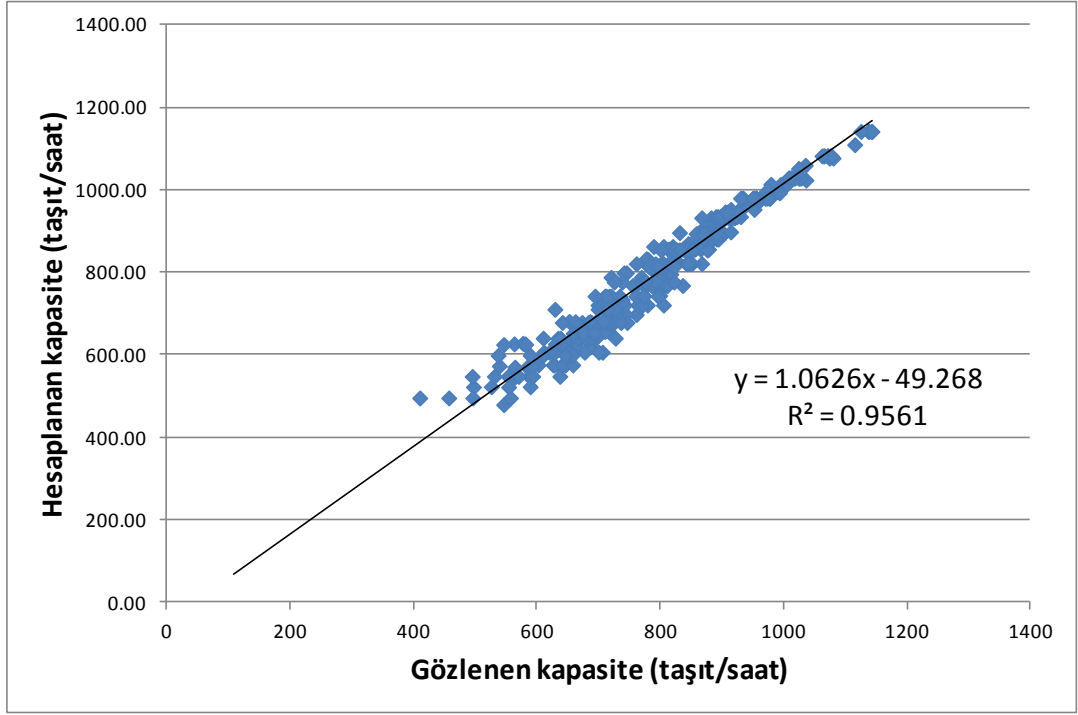
Tablo 6.3: Regresyon analizi sonuç tablosu

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0.994348423
R Kare	0.988728785
Ayarlı R Kare	0.988629915
Standart Hata	0.018963583
Gözlem	346

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	10.78880487	3.596268291	10000.26039	0
Fark	342	0.122989173	0.000359617		
Toplam	345	10.91179405			

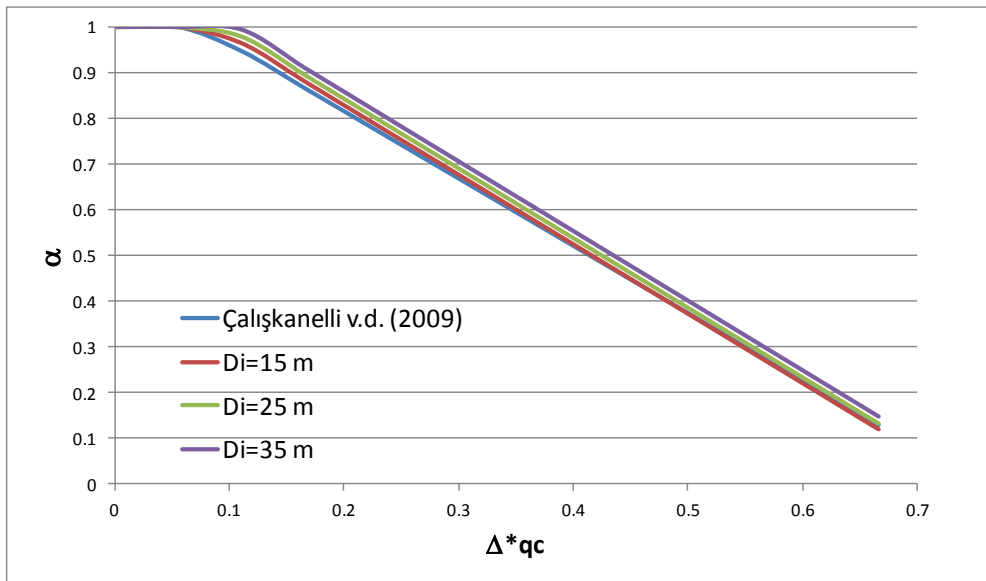
	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95.0%</i>	<i>Yüksek 95.0%</i>
Kesişim	1.094533337	0.008375153	130.6881578	5.3973E-294	1.078060043	1.111006632	1.078060043	1.111006632
Di	0.001510966	0.000215304	7.017832778	1.21631E-11	0.001087479	0.001934452	0.001087479	0.001934452
We	0.004493731	0.001566054	2.869461026	0.004367367	0.001413421	0.007574042	0.001413421	0.007574042
Δ^*qc	-1.521806126	0.010170656	-149.6271356	0	-1.54181104	-1.501801213	-1.54181104	-1.501801213

Tablo 6.3'te sunulan modelden yararlanarak, gözlem yapılan kavşak yanyol katılımlarına ait kapasiteler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, gözlenen kapasite değerleri ile karşılaştırılmış; birbirlerine çok yakın sonuçlar verdikleri anlaşılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Gözlenen ve hesaplanan kapasite değerlerinin karşılaştırılması

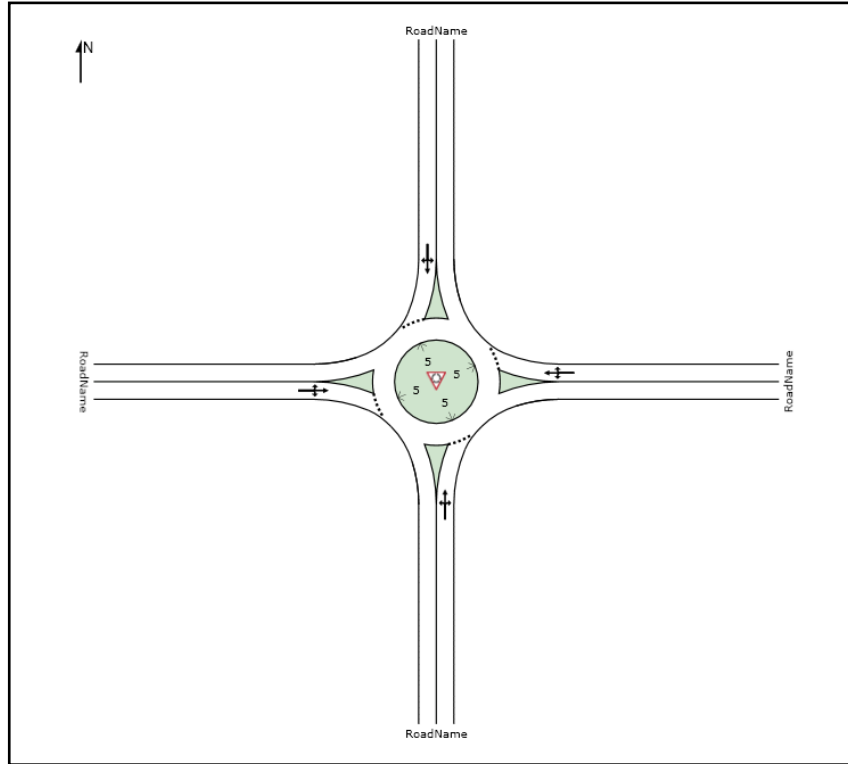
Model ayrıca, farklı D_i değerleri kullanılarak Çalışkanelli v.d. (2009) tarafından önerilmiş olan bağıntıyla karşılaştırılmıştır (Şekil 6.2). Karşılaştırma sonucunda kavşak çapı büyüdükçe serbest araç oranının da arttığı, ancak sonuçların birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür. Diğer yandan Çalışkanelli v.d. (2009) ait modelin, nispeten daha düşük α değerleri verdikleri söylenebilir.



Şekil 6.2: α bağıntılarının karşılaştırılması

Tanyel v.d. (2007) tarafından gözlem yapılan kavşakların dıştan dışa çap değerleri, 14~30 metre arasında değişmektedir. Çalışma kapsamında, 15, 25 ve 35 metrelik Di değerlerine sahip dört kollu üç sanal tek şeritli dönel kavşak oluşturulmuş ve analizler bu kavşaklar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örnek bir kavşak modeli Şekil 6.3'te sunulmaktadır. Kavşağın giriş ve çıkış şerit genişlikleri her yaklaşım kolu için 3,5 metre olarak kabul edilmişlerdir.

Oluşturulan sanal kavşaklar için, Excel programında rastgele seçilen trafik hacim verilerinden oluşan toplam 60 başlangıç-bitiş matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matris, hesaplanan kritik aralık kabul ve takip aralığı değerleri, engelleyici akım hesap sonuçları, sağa ve dönüş oranları ile kavşağa ait geometrik özellikleri içeren Excel tablo örneği şekil 6.4'te görülmektedir.



Şekil 6.3: Çalışma kapsamında oluşturulan kavşak örneği.

OD Matrisi					
	A	B	C	D	Toplam
A	0	320	120	180	620
B	280	0	220	300	800
C	400	100	0	200	700
D	420	120	80	0	620

Diğer Parametreler	
	Engelleyici
A	300
B	380
C	760
D	780

Diğer Parametreler			
	T	To	Delta
A	5.568661	2.952803	1.8
B	5.435905	2.921283	1.8
C	4.82692	2.771563	1.8
D	4.795857	2.763683	1.8

Yüzdeler			
	T	L	R
A	0.193548	0.290323	0.516129
B	0.375	0.35	0.275
C	0.571429	0.142857	0.285714
D	0.193548	0.129032	0.677419

Gözlem süresi	
	1 saat
Di	15
nc	1
ne	1
wg	4
phi	40

Şekil 6.4: Örnek Excel veri giriş tabloları

Oluşturulan sanal kavşakların kapasitelerinin hesaplanması amacıyla, Fisk (1991) tarafından önerilmiş olan dönel kavşak kapasite hesap yöntemi kullanılmıştır. Fisk yönteminin adımları, tek şeritli dönel kavşaklar için aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. İlk adım olarak, kapasitesi hesaplanacak ilk yaklaşım kolu tespit edilir (çalışmada bu yaklaşım A yaklaşımı olarak alınmıştır).
2. Yaklaşımdan kavşağa giriş yapacak taşıtları engelleyici trafik akımı hesaplanır. Bu değer, incelenen yaklaşım kolunun güneyde olduğu kabul edilirse, batısından gelerek doğru geçiş yapan veya sola dönen trafik akımı ile kuzey yönünden gererek sola dönüş yapan (doğu yönüne giden) taşıtların toplamıdır.
3. Yaklaşımın kapasitesi, bağıntı 6.1 kullanılarak hesaplanır. Bağıntıda kullanılan kritik aralık kabulü ve takip aralığı değerleri sırasıyla 6.4 ve 6.2 bağıntılarından, serbest araç oranı ise Tablo 6.3'te elde edilmiş olan bağıntıdan yararlanarak hesaplanmaktadır.
4. Elde edilen kapasite değeri eğer, talep değerinden büyükse ($Q_{ekapasite} > Q_{etalep}$), kavşağa girmek isteyen tüm taşıtların kavşağa gireceği kabul edilir. Eğer, talep kapasiteden büyükse kavşağa girecek taşıt sayısı, kapasite kadar olacaktır.

5. Seçilen yaklaşımdan (örneğin A yaklaşımından) kavşağa girebilecek taşıt sayısı belirlendikten sonra, takip eden yaklaşımın engelleyici akımı hesaplanır. İşlemler, tüm yaklaşımlar için 1. Maddeden itibaren tekrarlanır.
6. Tüm yaklaşım kapasiteleri hesaplandıktan ve kavşağa giriş yapabilecek taşıt sayıları tespit edildikten sonra, tekrar başlangıç için seçilen yaklaşım için hesaplamalar yapılır.
7. İşlemler, tüm yaklaşımların kapasiteleri ve kavşağa giriş yapabilecek taşıt sayıları değişmeyinceye kadar sürdürülür.

Tablo 6.4~6.7’de, Fisk yöntemi kullanılarak oluşturulmuş kavşak yaklaşımı kapasite hesabı Excel tabloları örnekleri görülmektedir. Tablolardan da görülebileceği üzere, yaklaşık en fazla yedinci iterasyon sonucunda, kavşak yaklaşım kollarına ait kapasite değerlerine erişilebilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen kapasite değerleri, aaSIDRA programının kalibrasyonu için kullanılmıştır.

Tablo 6.4: A yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu

QcA	qcA	AlphaA	LambdaA	qeA	QeA	QeA Kul.
750	0.208333	0.55875	0.18625	0.163631	589.0725	589.0725
660.5314	0.183481	0.624509	0.171091	0.180109	648.3912	648.3912
655.4872	0.18208	0.628217	0.170152	0.181087	651.9122	651.9122
655.192	0.181998	0.628434	0.170097	0.181144	652.1188	652.1188
655.1747	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1309	652.1309
655.1737	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
655.1736	0.181993	0.628447	0.170093	0.181148	652.1317	652.1317
					Doy.Der.	1.150074

Tablo 6.5: B yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu

QcB	qcB	AlphaB	LambdaB	qeB	QeB	QeB Kul
524.8643	0.145796	0.724225	0.143158	0.204817	737.3396	550
562.6126	0.156281	0.69648	0.151451	0.196588	707.7164	550
564.8532	0.156904	0.694833	0.151931	0.19611	705.995	550
564.9847	0.15694	0.694736	0.151959	0.196082	705.8941	550
564.9924	0.156942	0.694731	0.151961	0.19608	705.8882	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8879	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
564.9929	0.156942	0.69473	0.151961	0.19608	705.8878	550
					Doy.Der.	0.779161

Tablo 6.6: C yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu

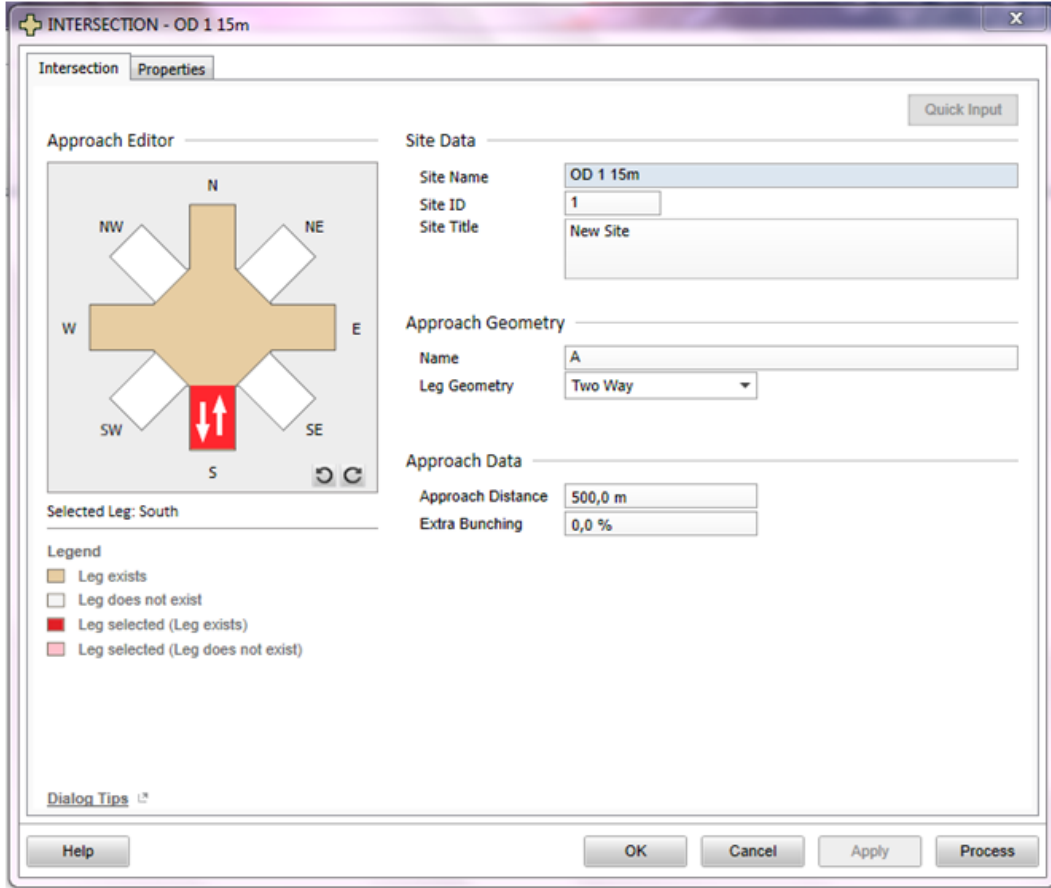
QcC	qcC	AlphaC	LambdaC	qeC	QeC	QeC Kul
667.1493	0.185319	0.619645	0.172311	0.165696	596.5056	596.5056
688.7198	0.191311	0.603791	0.176182	0.161726	582.2138	582.2138
690.0001	0.191667	0.60285	0.176407	0.161494	581.3774	581.3774
690.0753	0.191688	0.602795	0.17642	0.16148	581.3283	581.3283
690.0797	0.191689	0.602791	0.17642	0.161479	581.3255	581.3255
690.08	0.191689	0.602791	0.17642	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
690.08	0.191689	0.602791	0.176421	0.161479	581.3253	581.3253
					Doy.Der.	1.462176

Tablo 6.7: D yaklaşımına ait kapasite hesap tablosu

QcD	qcD	AlphaD	LambdaD	qeD	QeD	QeD Kul
551.7079	0.153252	0.704495	0.149093	0.213188	767.4768	767.4768
533.0847	0.148079	0.718183	0.144995	0.2173	782.2783	782.2783
533.1105	0.148086	0.718164	0.145001	0.217294	782.2576	782.2576
533.1837	0.148107	0.718111	0.145017	0.217277	782.1989	782.1989
533.1822	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2002	782.2002
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
533.1819	0.148106	0.718111	0.145017	0.217278	782.2004	782.2004
					Doy.Der.	1.073894

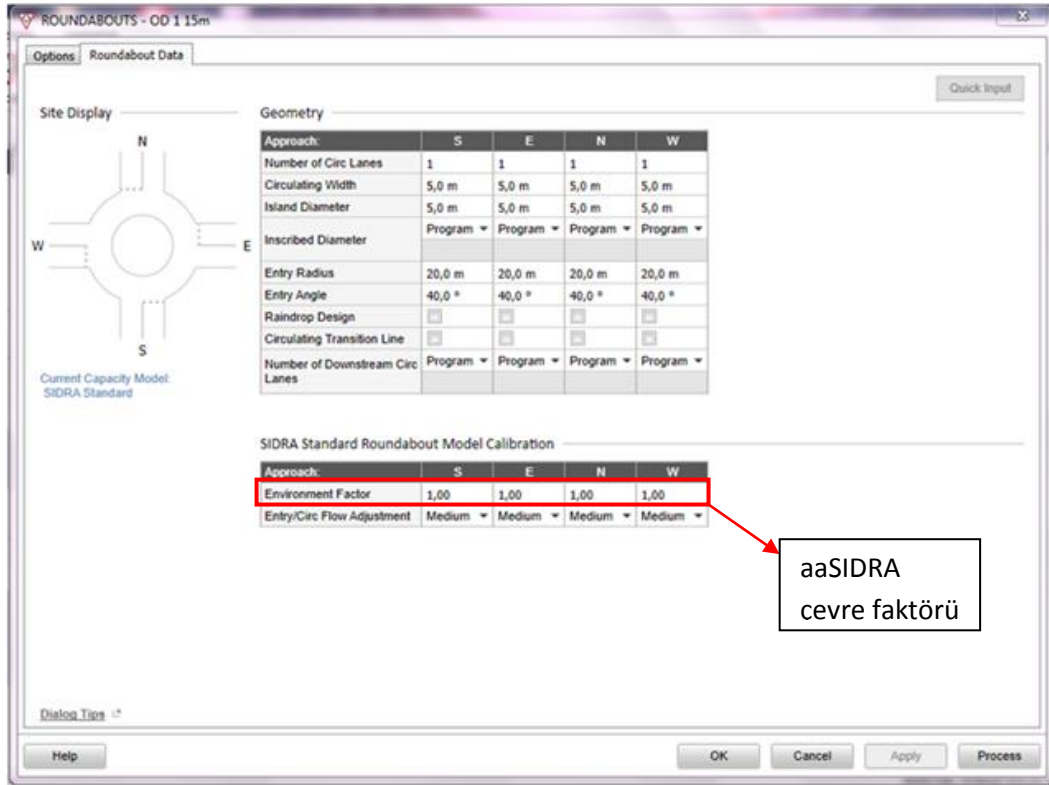
6.2 Kavşakların SIDRA Intersection Programında Modellenmesi

Benzetim programları mühendislere ve araştırmacılara önemli bilgiler sunmakla birlikte çoğu zaman çok sayıda ve detayda veri gerektirmektedirler. Bu da modelleme aşamasında kullanıcıların hata yapma olasılıklarını arttırmaktadır. SIDRA gibi analitik ve ampirik hesap yöntemlerine dayalı analiz programları ise kullanıcıların kavşak modeline daha fazla hakim olmalarını ve hangi değişkenin ne gibi sonuçlar verebileceğini daha sağlıklı öngörebilmelerini sağlayabilirler. Bu sebeple çalışma kapsamında SIDRA 6.0 programının kullanılmasında yarar olduğu düşünülmüştür. Şekil 6.5'te, SIDRA programı kavşak bilgi giriş ekranı görülmektedir.



Şekil 6.5: SIDRA'daki kavşak adlandırması

SIDRA programında modelin oluşturulmasında kavşağın geometrisinin doğru oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla SIDRA'da farklı alt menülerde veri girişi yapılması gerekmektedir. Çalışmada, Bölüm 6.1'de tanımlanan kavşak çapları 15, 25, 35 metre olan kavşaklar, SIDRA için de oluşturulmuş; kesişme açısı, yol genişliği gibi geometrik değişkenler programa işlenmiştir. Dönel kavşaklara ait geometrik parametre giriş ekranı Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6: SIDRA'daki dönel kavşak verileri

AASIDRA'da, özellikle dönel kavşakların kalibrasyonu ölçeklendirilmesi amacıyla bir çevre faktörü tanımlaması yapılmıştır. Buradaki çevre faktörü kavramı, çevresel etkileri değil; kavşağın içinde yer aldığı arazi kullanımı gibi unsurları ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, HCM 2010'da (TRB, 2010) yer alan Merkezi İş Alanı (MIA/CBD) kavramıyla bezerlik taşımaktadır.

Hacim sayfasında, her bir kavşak için bir saat süresinde giriş talep değerini Q_e her manevra için eklenir, Şekil 6.5, Sağ, Sol ve Doğru manevralar için, elde edilen değerler Şekil 6.6. verilmiştir. Bu değerlerin sonuçlarını Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Çevre faktörü ÇF parametresi, dönel kavşakların farklı ülkelerdeki kapasitelerinin belirlenmesi için SIDRA standart modelininkalibre edilmesiamacılıyla kullanılmış ve kavşağa ait çevresel koşullarını tanımlayan hesaplanan kapasite değerlerinde azaltma kısıtlama (yüksek kapasitede) veya arttırma (düşük kapasitede) planlamasının yapılmasına olanak sağlayan bir parametredir. Bu faktör için 0.50 ila 2.00 arasında bir değer önerilmiştir. ÇF için standart uygulanan faktör değeri "1"dir.

SIDRA standart kapasite modeli ABD trafik koşullarına göre uygulandığında, ÇF faktörü standart değer olarak 1.2 alınmıştır. Akçelik tarafından yayınlanan bir makalede tartışıldığı üzere sürücülerin kavşak alışkanlığının artması ve diğer bazı nedenler yüzünden reaksiyon hızı daha yüksek sürücü davranışlarının olacağı varsayılarak, gelecek için yapılacak kapasite modellemelerinde bu değer 1.1 olarak alınması daha uygun görülmüştür(Akçelik & Associates Pty. Ltd, Quickguideto SİDRA Intersection 6 Restricted).

Kapasite modellemesinde kullanılan çevresel faktör değeri, detaylı veri raporundaki kritik aralık kabulü parametre tablosunda bütün yaklaşımlar için belirtilmiştir.

Çevresel faktör değeri düştükçe kapasite artar. Örneğin; 1.0 değerine göre 0.95 değeri uygulandığında daha yüksek kapasiteler, 1.05 değeri uygulandığında ise daha düşük kapasiteler elde edilir.

Çevresel faktör, kavşak çevresindeki birçok farklı etmenin etki ettiği genel bir faktördür. Kavşak tasarımı, görüş mesafesi, kavşak önem düzeyi, hız limitleri, hafif/ağır ve farklı türdeki taşıt ölçüleri, sürücü davranışları ve dikkat düzeyleri (refleks tepki zamanlaması), yayalar, ağır taşıt aktivitesi (yük araçları, otobüsler, yaklaşma güzergâhı üzerindeki tramvay durakları), park yeri değişim sayısı ve benzeri şekilde kavşak yaklaşma/çıkış ve bağlantı yollarındaki araç hareketlerine etki eden tüm koşullar bu faktörü belirlemede etkindir. Bütün bu etmenlerin, kavşağa girmekte olan sürücüler üzerindeki etkisi hesaba katılmalıdır.

Yüksek kapasite koşulları; iyi görüş mesafesi, sürücü dikkatliliği (kısa reaksiyon süreleri), araç kompozisyonda hafif araçların daha fazla oluşu, ihmal edilebilir yaya yoğunluğu, önemli derecede olmayan park ve ağır vasıta aktivitesi (yük araçları, otobüsler, yaklaşma yolları üzerindeki tramvay durakları) gibi faktörlerin sonucunda ortaya çıkar.

Düşük kapasite koşulları ise; kompakt kavşak tasarımı (dik kesişen yollar), düşük görüş mesafesi, sakin sürücü davranışları (uzun reaksiyon süreleri), araç kompozisyonda ağır araçların daha fazla oluşu, yüksek yaya yoğunluğu, önemli derecede park ve ağır vasıta aktivitesi (yük araçları, otobüsler, yaklaşma yolları üzerindeki tramvay durakları) gibi faktörlerin sonucunda ortaya çıkar.

ÇF değerinin kalibrasyonu, çalışmanın sonraki şamaları için büyük önem taşımaktadır. aaSIDRA programının kalibrasyonu, bu faktörün doğru hesaplanması ile mümkün olabilir. Bu amaçla, öncelikle Bölüm 6.1’de oluşturulmuş olan başlangıç-varış matrisleri, kavşak çapına bağlı olarak aynen aaSIDRA programına da aktarılmıştır. Programın trafik talep giriş ekranı şekil 6.7’de görülmektedir.

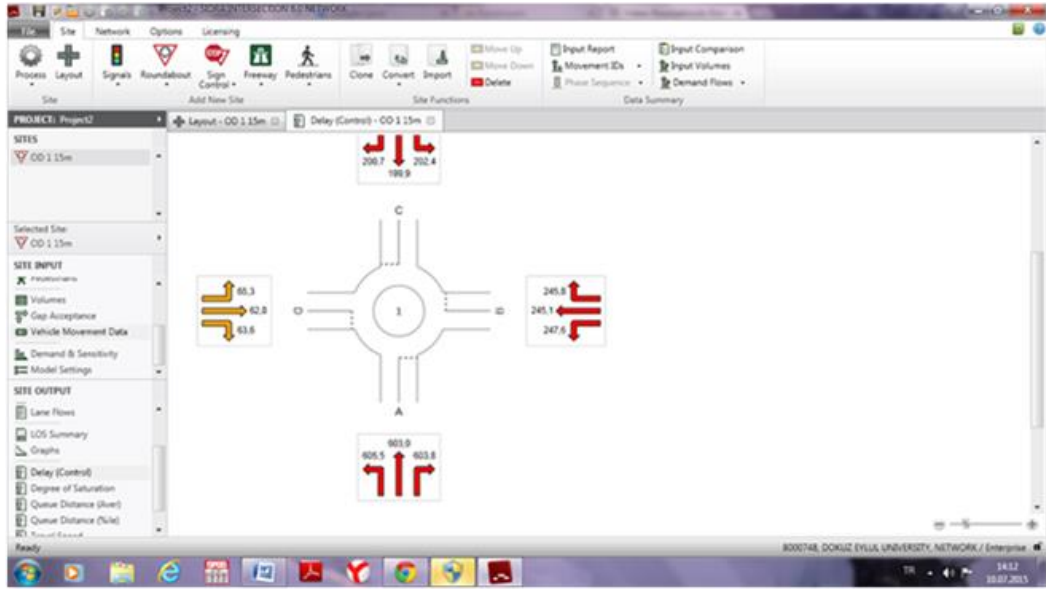
Specify the Volume Data Settings before entering Movement Volumes.
The Unit Time for Volumes and Peak Flow Period apply to both Vehicle and Pedestrian movements.

From South to Exit:	W	N	E
	L2	T1	R2
Total (veh)	410	400	150
Light Vehicles (%) *	100	100	100
Heavy Vehicles (%)	0	0	0
Input Check	OK	OK	OK

* LV (%) values are calculated from other volumes specified

Şekil 6.7: SIDRA’daki talep verileri

SIDRA hesaplamalarında, ilk adım olarak ÇF faktörü standart değer olarak “1” alınmıştır. Buradan kapasite ve gecikme değerleri elde edilmiş; elde edilen bu değerler, Bölüm 6.1’de hesaplanan kapasite değerleri ile karşılaştırılarak, değişimler gözlemlenmiştir (Şekil 6.8).



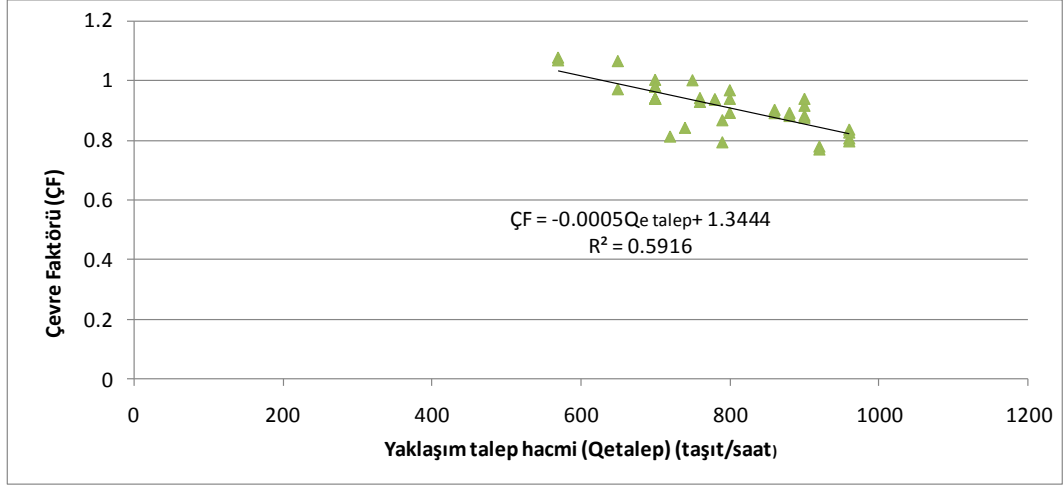
Şekil 6.8: SIDRA'daki gecikme sonuçları

Hesaplanan ÇF değerleri, kavşak içindeki dönüş yapan trafik hacmi (Q_c) (taşıt/saat); kavşağın dıştan dışa çapı (D_i) (metre); ve yanyol katılım talep hacim (Q_{etalep}) değerleri ile ilişkilendirilerek, ÇF için bir bağıntı elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, yine regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizi sonucunda, ÇF değerinin, dönen trafik hacmi ve kavşağın dıştan dışa çapı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. ÇF değerinin, sadece Q_{etalep} ile değiştiği ve 0,7~1,2 aralığında bir değere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6.9). Buna göre ÇF faktörü aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanabilir:

$$\text{ÇF} = 1,344 - 0,0005 * Q_{etalep} \quad (6.9)$$

Analiz sonucunda, yanyoldan kavşağa giriş yapmak isteyen taşıt sayısı arttıkça, ÇF faktörünün düştüğü, diğer bir deyişle yanyol katılım kapasitesinin arttığı sonucunu doğurmaktadır. Bu sonuç; Tanyel v.d. (2013) tarafından, servis gecikmesi değerinin yanyol kapasitesi arttıkça düştüğü bulgusuyla da örtüşmektedir. Kuyrukta uzun süre bekleyen sürücüler, kavşağa girişte daha kısa zaman cinsinden takip aralıklarını kabul edebilmektedirler. Bunun sonucunda, incelenen yaklaşım kolunun kapasitesinin göreceli olarak arttığı anlamını taşımaktadır. Burada özellikle belirtilmesi gereken husus, ÇF faktörü her bir yaklaşım kolu için hesaplanmaktaysa da, kavşağın genel başarımının, tüm yaklaşım kollarının birlikte incelenmesi ile

ancak belirlenebileceğidir. **Yine de, ÇF faktörünün sabit bir değer olmadığı, talebe bağlı olarak değişebildiği önemli bir bulgudur.**



Şekil 6.9: Regresyon analiziyle çevre faktörü hesabı

6.3 Dönel Kavşakların Çevresel Etkilerinin İrdelenmesi

Çalışmada, aaSIDRA programında yer alan çevre faktörün (ÇF) parametresinin kalibre edilmesinin (ölçeklendirilmesinin) ardından, Türkiye’deki dönel kavşakların çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan sanal kavşaklar, aaSIDRA programında bu kez ÇF parametresi kullanılarak tekrar analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, ÇF faktörünün “1” olması ve 6.9 bağıntısından hesaplanması koşullarına bağlı olarak çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla kavşağı kullanan araçlardan salınabilecek kirletici emisyon değerleri ile taşıt başına harcanan yakıt miktarları hesaplanmıştır. aaSIDRA programına ait örnek bir tablo çıktısı Tablo 6.8’de görülmektedir.

Tablo 6.8: Yakıt tüketimi, emision ve maliyeti

Intersection ID: d Roundabout							
FUEL CONSUMPTION, EMISSIONS AND COST (TOTAL)							
Mov Turn ID		Cost Total \$/h	Fuel Total L/h	CO2 Total kg/h	CO Total kg/h	HC Total kg/h	NOX Total kg/h
South: RoadName							
1	L2	2265.96	126.5	297.2	0.21	0.033	0.065
2	T1	849.74	47.4	111.4	0.08	0.012	0.024
3	R2	1982.72	110.7	260.0	0.19	0.029	0.057
		5098.41	284.5	668.7	0.48	0.074	0.146
East: RoadName							
4	L2	1510.72	94.5	222.2	0.18	0.024	0.054
5	T1	755.36	47.3	111.1	0.09	0.012	0.027
6	R2	566.52	35.5	83.3	0.07	0.009	0.020
		2832.59	177.3	416.6	0.33	0.045	0.101
North: RoadName							
7	L2	766.53	46.2	108.6	0.08	0.012	0.026
8	T1	1022.04	61.6	144.8	0.11	0.016	0.034
9	R2	1277.55	77.0	181.0	0.14	0.020	0.043
		3066.11	184.9	434.5	0.34	0.047	0.103

Yapılan hesaplar sonucunda elde edilen harcanan yakıt, CO₂, CO, HC ve NO_x değerleri, incelenen yaklaşım kolundan kavşağa giriş yapmak isteyen taşıtların manevra türüne (sola veya sağa dönüş veya düz geçiş); kavşağın dıştan dışa çapına ve engeleyici 8dönen) akıma bağlı olarak tablolştırılmıştır. ÇF parametresinin “1” alınması durumunda elde edilen sonuçlar Tablo 6.9’da, ÇF parametresinin kalibre edilmiş (ölçeklendirilmiş) değerlerinin kullanıldığı analizlerden elde edilen sonuçlar ise Tablo 6.10’da gösterilmiştir.

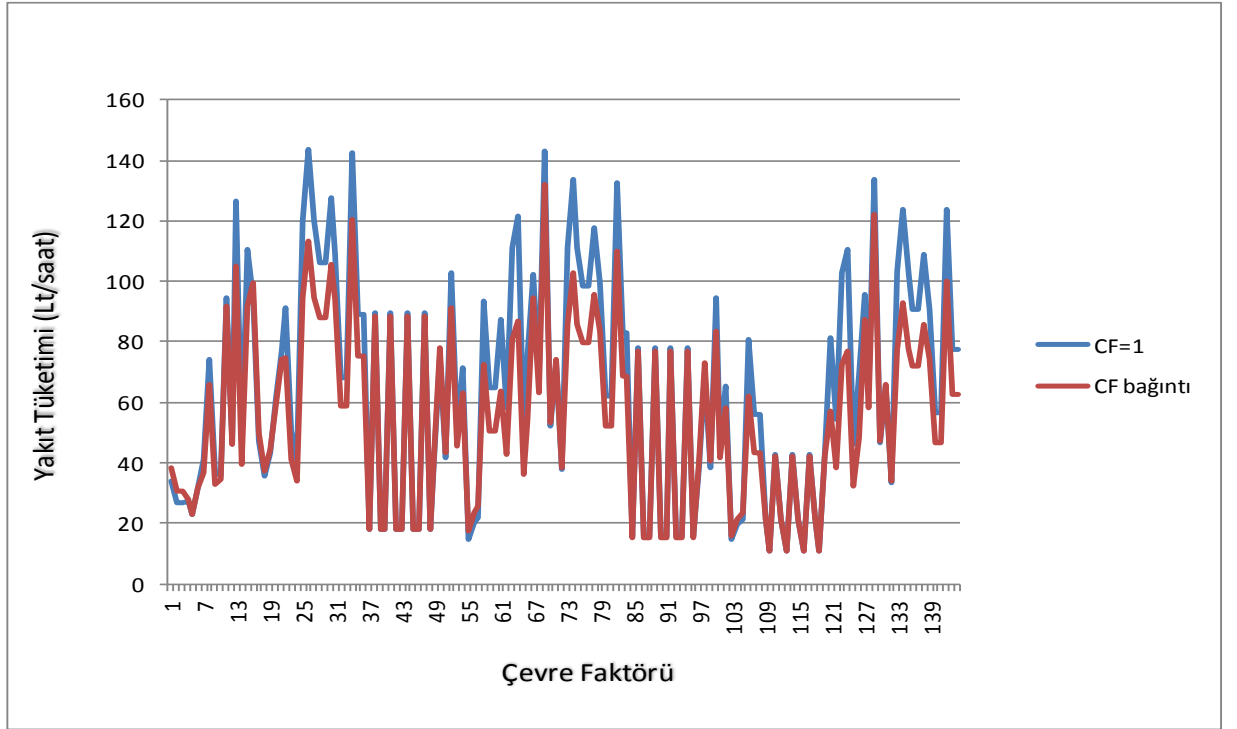
Tablo 6.9: ÇF parametresinin “1” alınması durumunda elde edilen sonuçlar

	Qesağ	Qedüz	Qesol	Qc	Di	Yakıt	CO2	CO	HC	NOX	CF
A	250	200	200	700	15	87.8	206.4	0.2	0.02	0.059	1
B	220	180	150	600	15	81.59	193.8	0.18	0.018	0.057	1
C	200	360	180	650	15	152.5	358.3	0.29	0.037	0.093	1
D	150	400	200	780	15	177.7	417.6	0.34	0.045	0.104	1
A	400	150	300	800	15	284.6	668.6	0.48	0.07	0.146	1
B	400	200	150	950	15	177.3	416.6	0.34	0.045	0.101	1
C	180	240	300	1000	15	181.8	434.4	0.33	0.048	0.103	1
D	400	220	180	820	15	182.8	429.7	0.34	0.046	0.106	1
A	300	360	300	1050	15	383.4	900.8	0.64	0.102	0.189	1
B	300	300	360	1060	15	339.9	799	0.57	0.089	0.173	1
C	400	250	250	900	15	244.8	575	0.43	0.062	0.134	1
D	400	250	250	950	15	320.3	752.7	0.54	0.083	0.161	1
A	100	500	100	700	15	125.5	294.9	0.26	0.03	0.079	1
B	100	500	100	700	15	125.5	294.9	0.26	0.03	0.079	1
C	100	500	100	700	15	125.5	294.9	0.26	0.03	0.079	1
D	100	500	100	700	15	125.5	294.9	0.26	0.03	0.079	1
A	200	360	200	760	15	158.8	372.9	0.31	0.039	0.095	1
B	360	180	250	760	15	225.7	530.6	0.4	0.057	0.12	1
C	150	200	220	570	15	56.7	133.3	0.15	0.012	0.041	1
D	360	250	250	860	15	222.6	523.2	0.41	0.056	0.124	1
A	300	200	380	900	25	257	604	0.45	0.067	0.144	1
B	480	200	300	750	25	247.9	582.5	0.45	0.063	0.153	1
C	300	200	420	980	25	313.9	737.6	0.53	0.083	0.166	1
D	250	350	180	980	25	163.4	383.8	0.31	0.04	0.1	1
A	200	360	200	1500	25	356.2	837.1	0.6	0.093	0.183	1
B	360	180	250	1600	25	314.5	739.1	0.54	0.083	0.172	1
C	150	200	220	900	25	223.9	526	0.4	0.057	0.136	1
D	360	250	250	950	25	298.7	701.7	0.51	0.079	0.159	1
A	100	500	100	700	25	109.2	256.7	0.23	0.027	0.072	1
B	100	500	100	700	25	109.2	256.7	0.23	0.027	0.072	1
C	100	500	100	700	25	109.2	256.7	0.23	0.027	0.072	1
D	100	500	100	700	25	109.2	256.7	0.23	0.027	0.072	1
A	200	360	200	760	25	145.6	342.4	0.3	0.035	0.092	1
B	360	180	250	920	25	207.2	487	0.38	0.053	0.119	1
C	150	200	220	740	25	55.4	130	0.15	0.011	0.041	1
D	360	250	250	710	25	193	453.7	0.37	0.048	0.12	1
A	200	100	400	500	25	75.1	176.5	0.19	0.016	0.055	1
B	200	100	400	500	25	75.1	176.5	0.19	0.016	0.055	1
C	200	100	400	500	25	75.1	176.5	0.19	0.016	0.055	1
D	200	100	400	500	25	75.1	176.5	0.19	0.016	0.055	1
A	300	200	380	900	35	238.5	560.5	0.44	0.051	0.139	1
B	480	200	300	750	35	225.6	530.2	0.43	0.057	0.145	1
C	300	200	480	980	35	292.9	688.1	0.51	0.077	0.162	1
D	250	350	180	980	35	145.5	341.8	0.29	0.035	0.094	1
A	200	360	200	1050	35	330.3	776.9	0.57	0.086	0.177	1
B	360	180	250	1060	35	290.6	682.9	0.51	0.076	0.166	1
C	150	200	220	900	35	204.5	480.3	0.39	0.051	0.129	1
D	360	250	250	950	35	278.6	654.5	0.5	0.072	0.155	1

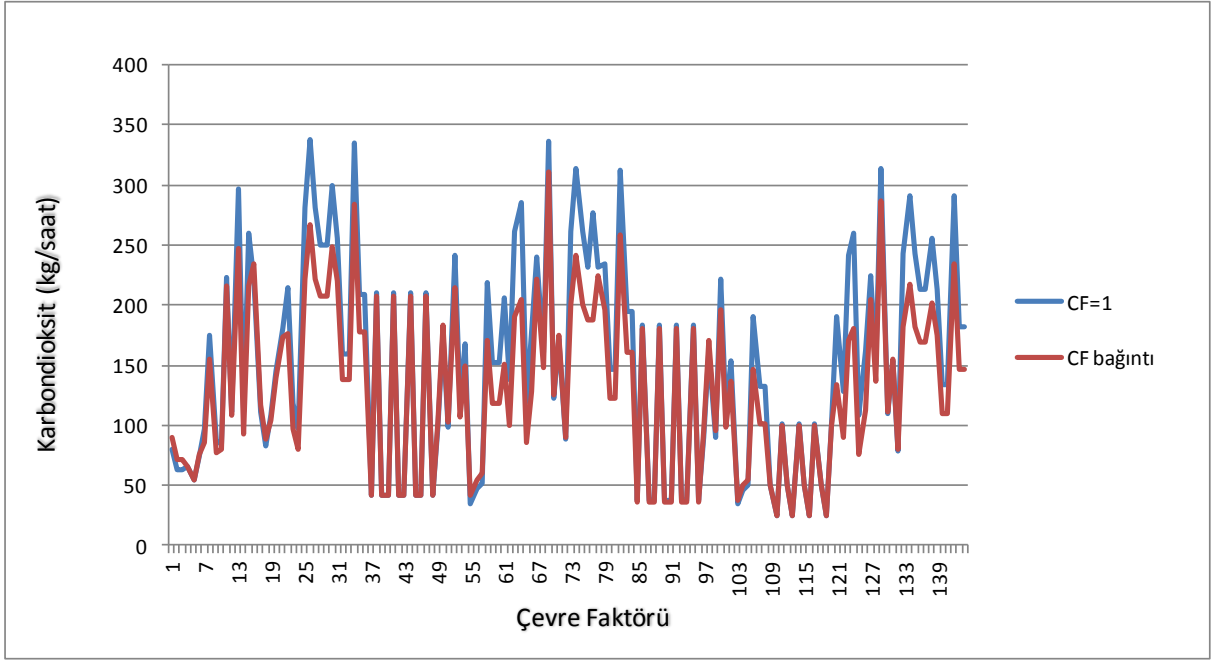
Tablo 6.10: ÇF parametresinin kalibre edilmiş (ölçeklendirilmiş) değerlerinin kullanıldığı analizlerden elde edilen sonuçlar

	Qesağ	Qedüz	Qesol	Qc	Di	Yakıt	CO2	CO	HC	NOX	CF
A	250	200	200	700	15	99.1	232.7	0.22	0.023	0.065	1.0194
B	220	180	150	600	15	83	195	0.19	0.018	0.057	1.0194
C	200	360	180	650	15	135.2	317.7	0.27	0.033	0.085	0.9744
D	150	400	200	780	15	171.9	403.1	0.32	0.044	0.101	0.969
A	400	150	300	800	15	236.5	555.9	0.41	0.06	0.13	0.894
B	400	200	150	950	15	186.5	438.4	0.34	0.047	0.105	0.969
C	180	240	300	1000	15	177.6	417.3	0.33	0.045	0.1	0.9844
D	400	220	180	820	15	149.8	352	0.3	0.036	0.092	0.9444
A	300	360	300	1050	15	302.3	710.4	0.51	0.079	0.163	0.8644
B	300	300	360	1060	15	281.9	662.1	0.48	0.073	0.153	0.8644
C	400	250	250	900	15	211.2	496.1	0.45	0.054	0.122	0.8944
D	400	250	250	950	15	271.4	637.8	0.47	0.069	0.144	0.8944
A	100	500	100	700	15	123.9	291.2	0.26	0.03	0.078	0.9944
B	100	500	100	700	15	123.9	291.2	0.26	0.03	0.078	0.9944
C	100	500	100	700	15	123.9	291.2	0.26	0.03	0.078	0.9944
D	100	500	100	700	15	123.9	291.2	0.26	0.03	0.078	0.9944
A	200	360	200	760	15	165	387.9	0.31	0.042	0.099	0.9644
B	360	180	250	760	15	200.3	470.2	0.35	0.041	0.111	0.9494
C	150	200	220	570	15	66.2	155.7	0.16	0.015	0.046	1.0594
D	360	250	250	860	15	173.7	408	0.34	0.042	0.106	0.9144
A	300	200	380	900	25	187.5	440.2	0.16	0.02	0.051	0.9044
B	480	200	300	750	25	177.5	417.2	0.36	0.043	0.122	0.8544
C	300	200	420	980	25	289.4	680.2	0.5	0.075	0.159	0.8844
D	250	350	180	980	25	165.9	389.8	0.32	0.041	0.102	0.9544
A	200	360	200	1500	25	273.6	643.1	0.48	0.07	0.16	0.8644
B	360	180	250	1600	25	254.7	598.7	0.45	0.064	0.153	0.8644
C	150	200	220	900	25	188.2	442.2	0.36	0.047	0.122	0.894
D	360	250	250	950	25	247	580.6	0.44	0.064	0.144	0.894
A	100	500	100	700	25	107.8	253.2	0.23	0.026	0.071	0.9944
B	100	500	100	700	25	107.8	253.2	0.23	0.026	0.071	0.9944
C	100	500	100	700	25	107.8	253.2	0.23	0.026	0.071	0.9944
D	100	500	100	700	25	107.8	253.2	0.23	0.026	0.071	0.9944
A	200	360	200	760	25	153.8	361.3	0.3	0.038	0.095	0.9644
B	360	180	250	920	25	183.5	431.3	0.35	0.047	0.11	0.9494
C	150	200	220	740	25	60.3	141.6	0.15	0.013	0.044	1.0594
D	360	250	250	710	25	148.7	349.6	0.31	0.035	0.1	0.9144
A	200	100	400	500	25	74.2	174.5	0.19	0.016	0.055	0.9944
B	200	100	400	500	25	74.2	174.5	0.19	0.016	0.055	0.9944
C	200	100	400	500	25	74.2	174.5	0.19	0.016	0.055	0.9944
D	200	100	400	500	25	74.2	174.5	0.19	0.016	0.055	0.9944
A	300	200	380	900	35	167.8	394.3	0.34	0.041	0.111	0.9044
B	480	200	300	750	35	157.2	369.3	0.34	0.037	0.112	0.8544
C	300	200	480	980	35	267.9	629.6	0.47	0.07	0.153	0.8844
D	250	350	180	980	35	146.6	344.5	0.29	0.035	0.095	0.9544
A	200	360	200	1050	35	247.1	580.8	0.45	0.064	0.15	0.8644
B	360	180	250	1060	35	229.4	539.2	0.42	0.058	0.144	0.8644
C	150	200	220	900	35	167.4	393.4	0.33	0.04	0.112	0.8644
D	360	250	250	950	35	224.6	527.5	0.42	0.057	0.137	0.8644

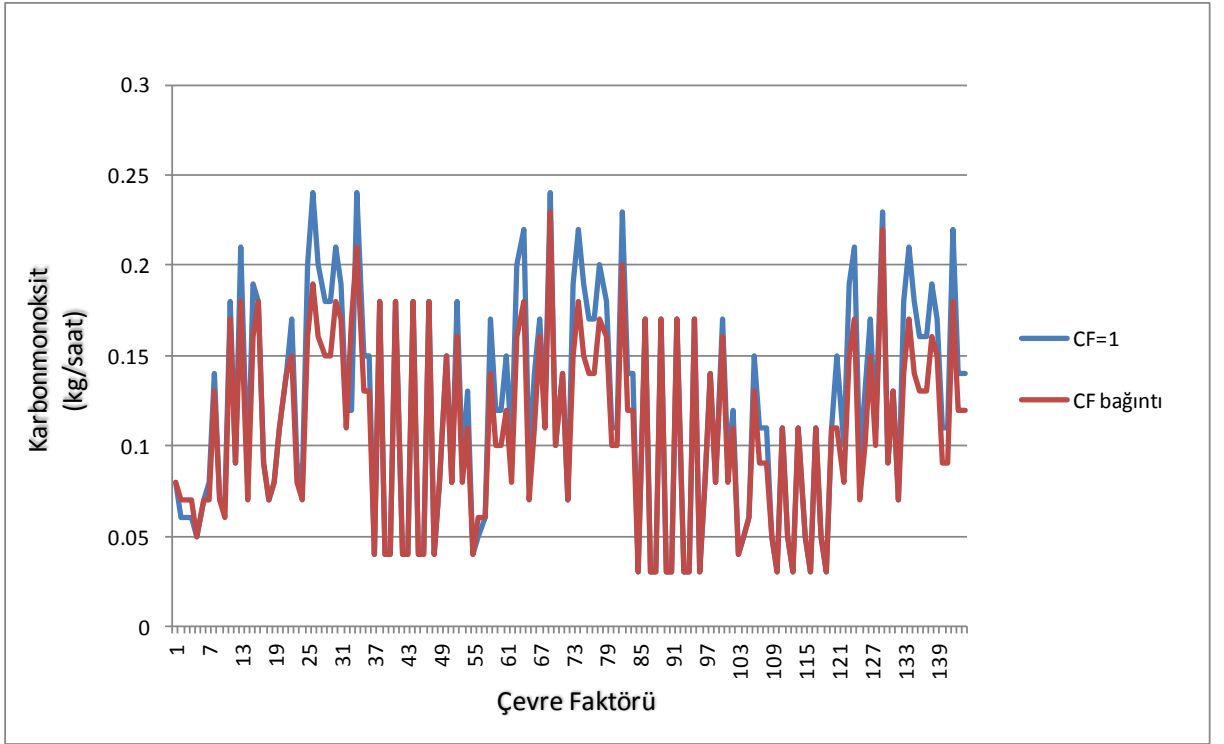
Tablo 6.9'daki sonuçların, Avustralya'da bulunan tek şeritli dönel kavşakların çevresel etkilerini; Tablo 6.10'daki sonuçların ise Türkiye'deki dönel kavşakların çevresel etkilerini ifade ettikleri söylenebilir. Her iki analizden elde edilen sonuçlar, Şekil 6.10~6.14'te karşılaştırılmıştır. Şekiller incelendiğinde, yakıt tüketimi ve havayı kirletici emisyon salımlarının birbirlerine yakın sonuçlar verdikleri ancak Türkiye'deki bazı koşullarda dönel kavşakların Avustralya'ya oranla çevreye daha az zarar verdikleri görülmektedir. **Bu durumun, dönel kavşakların ancak doğru geometri ile tasarlanmaları sonucunda gerçekleşebileceği unutulmamalıdır.**



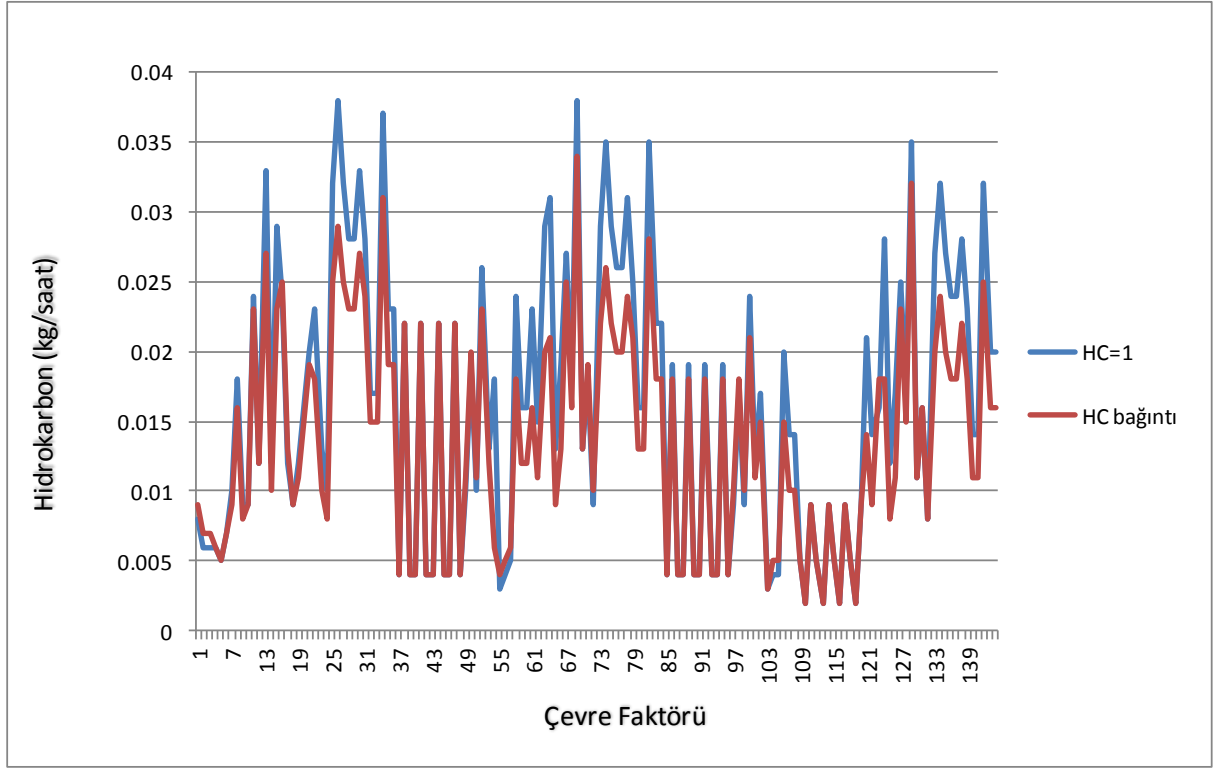
Şekil 6.10: Yakıt tüketimi için karşılaştırma



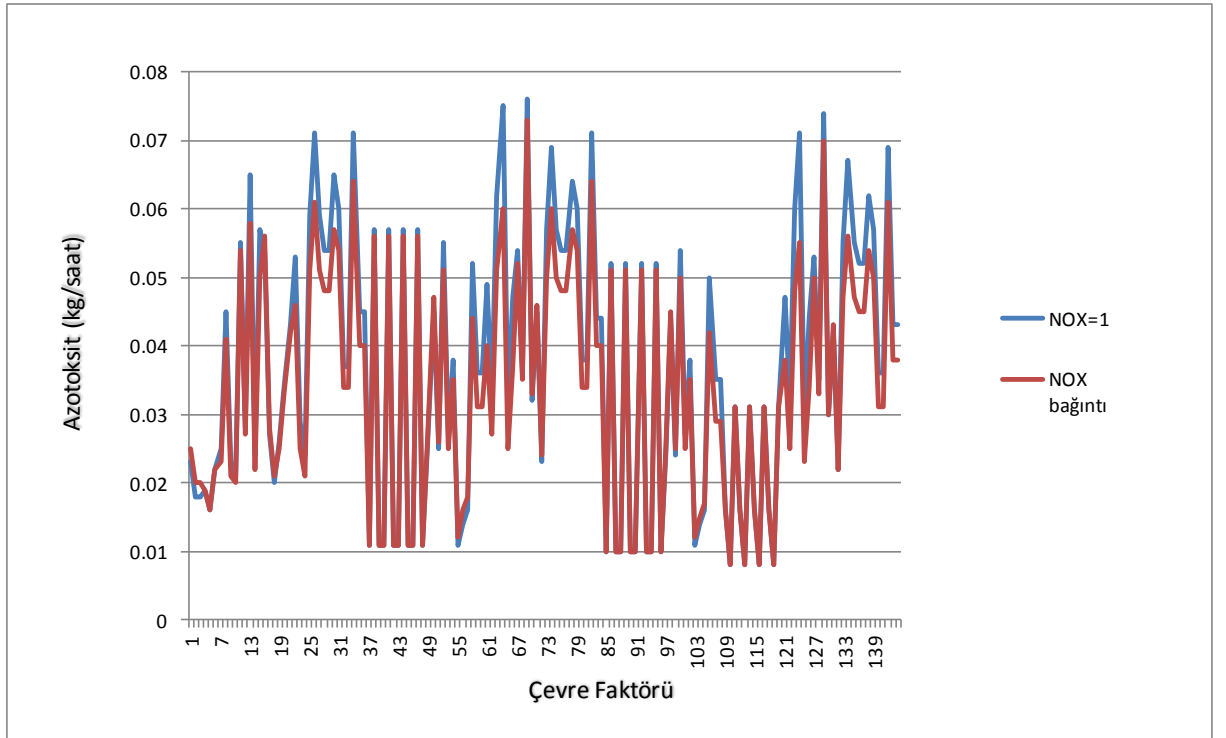
Şekil 6.11: CO₂ salımı için karşılaştırma



Şekil 6.12: CO salımı için karşılaştırma



Şekil 6.13: HC salımı için karşılaştırma



Şekil 6.14: NOx salımı için karşılaştırma

Çalışmanın asıl amacı, dönel kavşakların çevresel etkisi üzerinde etkili olan parametrelerin bulunmasıdır. Bu amaçla, Tablo 6.10’da sunulmuş olan veri grubu kullanılarak Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu Yöntemi ile bir analiz yapılmıştır.

“Kısmi En Küçük Kareler, Herman Wold tarafından 1960’lı yıllarda, bağımsız değişkenlerin çok sayıda ve ilişkili olması durumunda tahmine yönelik modeller elde etmek için yeni bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Kısmi En Küçük Kareler yönteminde amaç, bağımsız X değişkenleri ve bağımlı Y değişkenlerinin oluşturduğu iki veri bloğu için elde edilmiş gizli değişkenler kullanılarak, bu iki veri bloğu arasında ilişki bulmaktır. Bu yöntem ilk olarak Herman Wold tarafından 1966 yılında, ekonomik ve sosyal olayları modellemek için kullanılmıştır. Kısmi En Küçük Kareler yöntemi kimya bilim alanında Kowalski vd. tarafından 1979 yılında yapılan bir başlangıç çalışmasından sonra kullanılmaya başlanmıştır. 1980 yılından bu zamana kadar, birbirleri ile doğrusal ilişkili X ve Y değişkenlerinden oluşan iki bloklu özgün Kısmi En Küçük Kareler modeli, bilim ve teknoloji alanındaki verileri daha iyi çözümlmek için geliştirilmiştir. Böylece Kısmi En Küçük Kareler yöntemi, klasik regresyonun uygulanmasının zor olduğu karmaşık veri kümelerini çözümlmek için daha yararlı olmuştur” (Polat, E., 2009).

Kısmi En Küçük Kareler Yöntemi, ulaştırma mühendisliği alanında kullanımı çok yeni ve sınırlıdır. Ancak yukarıda kısaca açıklandığı gibi, klasik regresyon analizi dışında, özellikle veri sayısının bağımsız değişken sayısından az olması gibi koşullarda etkin sonuçlar verebilmektedir.

6.4 KKER yönteminin açıklaması

Veri kümesinde açıklayıcı değişken sayısının çok olması değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin olma ihtimalini güçlendirmekte ve değişken sayısının gözlem sayısından çok olması da sıradan en küçük kareler regresyonunu kullanılmaz kılmaktadır. Çoklu doğrusal bağlantı problemi, yapılan analizler sonucunda elde edilen en küçük kareler kestiricilerinin varyans değerlerinin büyük olmasına ve tahminlerin gerçek değerlerinden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Böyle bir durumda kullanılabilir alternatif bir yöntem olan kısmi en küçük kareler regresyonu 1960’lı yıllarda Herman Wold tarafından geliştirilmiş olup, boyut

indirgemenin temel alındığı kısmi en küçük kareler analizi ve çoklu doğrusal regresyon yöntemlerinden oluşmaktadır. Çoklu doğrusal bağlantı problemini ortadan kaldırmada, değişkenlerin gözlem sayısından çok olduğu ve gözlemlerin değişken sayısından çok olduğu durumlarda kullanılabilen istatistiksel bir yöntemdir.

KEKK analizinde, aralarında çoklu doğrusal bağlantı olan açıklayıcı değişkenler, algoritmalar yardımıyla hem bağımlı değişkendeki değişimi hemde açıklayıcı değişkenlerdeki değişimi açıklayacak, doğrusal bağlantı problemi ortadan kalkmış olan açıklayıcı değişken sayısından daha az sayıda bileşene indirgenmektedir. Bu indirgeme işleminde Lindgren ve Rännar (1998)'ın çalışmalarında da belirttiği gibi NIPALS, SIMPLS, UNIPAL, SAMPLS ve KERNEL algoritmaları kullanılan algoritmalarından bir kaçıdır.

KEKK algoritmalarında açıklayıcı ve bağımlı olmak üzere iki değişken matrisi ile de ilgilenilmekte olup amaç kovaryans matrisini en çoklayan bileşen sayısını bulmaktır. Farklı veri yapıları için bir çok algoritma geliştirilmiştir, örneğin gözlem sayısının değişken sayısından çok olduğu durumda kullanılan algoritmalar olduğu gibi değişken sayısının gözlem sayısından çok olduğu durumda kullanılan algoritmalar da mevcuttur.

Bu çalışmamızda klasik algoritma olarak da bilinen NIPALS ile değişken sayısının gözlem sayısından çok olduğu durum için geliştirilen PLS-Kernel algoritmasına değinilerek, iki algoritmanın Ondokuz Mayıs Üniversitesi Beden Eğitimi Meslek Yüksek Okulundan alınan veri kümesine uygulanması ile elde edilen sonuçlar verilmektedir. Çalışmamızda matrisler koyu ve büyük, vektörler ise koyu ve küçük harf ile gösterilmiştir. Matrisin transpozu ise “'” simgesi ile gösterilmiştir.

6.4.1 NIPALS ve PLS-KERNEL Algoritmaları

6.4.1.1 NIPALS Algoritması (Non-Linear Iterative Partial Least Squares)

Klasik, standart algoritma olarak da bilinen NIPALS, KEKK' in temelini oluşturmaktadır ve tek bağımlı değişken (KEKK1) ve çok bağımlı değişken (KEKK2) durumlarında kullanılabilir. Kovaryans matrisini en çoklayan bileşenleri elde etmeyi amaçlayan algoritmada tüm bileşenler aynı anda elde edilmez. Her bir adımda tek bir bileşen ve bu bileşene ait ağırlık ve yük değerleri elde edilmektedir. Algoritma istenilen bileşen sayısı elde edilince yada matrisi sıfır matrisi olunca sonlandırılır. Çalışmamızda Höskuldsson (1988) tarafından verilen algoritma ele alınmıştır. Ayrıca Helland (2001), Kowalski ve Geladi (1986) bu konuda çalışan önemli isimler arasında yer almaktadır. NIPALS yinelemeli bir algoritma olup $N \times P$ boyutlu \mathbf{X} , açıklayıcı değişkenler matrisi ve boyutlu $N \times P$ boyutlu \mathbf{Y} , bağımsız değişkenler matrisi ile ilgilenmektedir. Burada, \mathbf{K} : açıklayıcı değişken sayısını, P : bağımlı değişken sayısını vermektedir. Algoritmada a bileşen sayısını göstermekte olup $a = 1, 2, \dots, A$ dır. İlk adımda orjinal matrisler ($\mathbf{X}_i = \mathbf{X}, \mathbf{Y}_i = \mathbf{Y}$)'in kullanıldığı algoritma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

Adım 1: Bağımlı değişken çok sayıda ise bu değişkenlerden

Adım 1: Bağımlı değişken çok sayıda ise bu değişkenlerden oluşan \mathbf{Y} matrisinin en yüksek varyansa sahip olan sütunu ya da ilk sütunu, bağımlı değişken sayısı tek ise direkt o değişken sütunu vektörü \mathbf{u}_a olarak alınır.

Adım 2: \mathbf{X} 'in \mathbf{Y} 'nin ilgili bileşeni üzerine regresyonundan \mathbf{X} ve \mathbf{u} arasındaki kovaryansı en çoklayan \mathbf{w} ağırlık vektörü $\mathbf{w}_a = \mathbf{X}'_a \mathbf{u} / (\mathbf{u}'_a \mathbf{u}_a)$ ile elde edilir.

Adım 3: $\mathbf{w}_a / \|\mathbf{w}_a\|$ ile \mathbf{w}_a vektörü normuna bölünerek boyu 1 olacak şekilde ölçeklendirilir.

Adım 4: $\mathbf{t}_a = \mathbf{X}_a \mathbf{w}_a$ eşitliği ile \mathbf{X} 'in ilgili bileşeni $\mathbf{t}_a, \mathbf{w}_a$ ağırlık vektörü ile \mathbf{X} 'in doğrusal bir kombinasyonu olacak şekilde hesaplanır.

Adım 5: \mathbf{t}_a bileşeninin \mathbf{Y} 'yi modellemedeki katkısını açıklayan \mathbf{c}_a ağırlık vektörü $\mathbf{c}_a = \mathbf{Y}'_a \mathbf{t}_a / (\mathbf{t}'_a \mathbf{t}_a)$ ile \mathbf{Y} 'nin \mathbf{t}_a üzerine regresyonundan elde edilir.

Adım 6: \mathbf{c}_a ağırlık vektörü normuna bölünerek boyu 1 olacak şekilde ölçeklendirilir. Yani $\mathbf{c}_a / \|\mathbf{c}_a\|$ hesaplanır.

Adım 7: \mathbf{Y} için ilgili bileşen $\mathbf{u}_a(\text{yeni})$, \mathbf{c}_a ağırlık vektörü ile \mathbf{Y} 'nin doğrusal bir kombinasyonunu oluşturacak şekilde $\mathbf{Y}_a \mathbf{c}_a / (\mathbf{c}_a' \mathbf{c}_a)$ ile hesaplanır.

Adım 8: Adım 2' de kullanılan \mathbf{u}_a değeri ile Adım 7'de kullanılan $\mathbf{u}_a(\text{yeni})$ değeri arasında bir yakınsama sağlanıp sağlanmadığına bakılır. Bu yakınsama, iki vektörün farkının normunun 10^{-6} gibi sıfıra çok yakın bir değer olması ile tespit edilir. Bu yakınsama sağlanır ise sonraki adımlara geçilerek algoritma sonlandırılır, aksi taktirde Adım 7'de elde edilen $\mathbf{u}_a(\text{yeni})$ değeri Adım 2'de yerine koyularak algoritmaya devam edilir.

Adım 9: \mathbf{X}' in ilgili bileşeni üzerine regresyonundan, bileşenin açıklayıcı değişken üzerindeki etkisini ifade eden yük vektörü $\mathbf{p}_a, \mathbf{X}'_a \mathbf{t}_a / (\mathbf{t}'_a \mathbf{t}_a)$ ile elde edilir.

Adım 10: \mathbf{Y}' 'nin ilgili bileşeni \mathbf{t}_a üzerine regresyonundan, bileşenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ifade eden yük vektörü $\mathbf{q}_a, \mathbf{Y}'_a \mathbf{u}_a / (\mathbf{u}'_a \mathbf{u}_a)$ ile elde edilir.

Adım 11: Hem \mathbf{X} hem de \mathbf{Y} için bileşenler ayrı hesaplandığından bileşenler arasında zayıf bir ilişki olmakta. Bu durumu ortadan kaldırmak için her bir bileşen için \mathbf{Y}' 'nin ilgili bileşeni \mathbf{u}_a 'nın \mathbf{X}' 'in ilgili bileşeni \mathbf{t}_a üzerine regresyonundan elde edilen içsel bir ilişkiyi tanımlayan \mathbf{b}_a katsayısı $\mathbf{b} = \mathbf{u}'_a \mathbf{t}_a / (\mathbf{t}'_a \mathbf{t}_a)$ ile hesaplanır

Adım 12: Elde edilen bileşenler ve yükler bağımlı ve açıklayıcı değişkeni $\mathbf{X}' = \mathbf{P}\mathbf{Y}'$ ve $\mathbf{Y}' = \mathbf{B}\mathbf{T}\mathbf{C}'$ modellemede kullanılmaktadır. Sırasıyla açıklayıcı ve bağımlı değişken ve ile modellenmektedir. Algoritmanın bu adımında bir sonraki bileşeni elde etmek için kullanılacak olan \mathbf{X}_{a+1} ve \mathbf{Y}_{a+1} artık matrisleri $\mathbf{X}_{a+1} \rightarrow \mathbf{t}_a \mathbf{p}'_a$ ve $\mathbf{Y}_{a+1} \rightarrow \mathbf{b}_a \mathbf{c}'_a$ ile hesaplanmaktadır.

Algoritmaya açıklayıcı değişkenlerdeki ve bağımlı değişkenlerdeki değişimin büyük bir kısmı açıklanmaya kadar devam edilir. Algoritma ihtiyaç duyulan en az sayıda bileşen sayısını vermektedir.

6.4.1.2 PLS-KERNEL Algoritması

Değişken sayısı gözlem sayısından çok olduğu ya da gözlem sayısı değişken sayısından çok olduğu durumda NIPALS algoritması çok fazla zamanlabilmektedir. Bu durumlarda kullanılması önerilen Kernel algoritmaları mevcuttur. Lindgren *vd.* (1993), De Jong ve Ter Braak (1994) gözlem sayısının değişken sayısından çok

olduğu durumda kullanılmak amacı ile kernel algoritmaları geliştirmişlerdir. Rännar *vd.* (1994) ise değişken sayısının gözlem sayısından fazla olduğu durumda kullanılacak olan bir kernel algoritması geliştirmişlerdir. Bu çalışmada bu kernel algoritması üzerinde durulacaktır PLS-Kernel algoritması, 'n' 'ye göre çok fazla olduğu durum ($K \gg N$) için geliştirilmiş hızlı bir KEKK regresyon algoritmasıdır. Algoritmada XX' ve YY' birliktelik matrisleri ve bu matrislerin çarpımından elde edilen $XX'YY'$ kernel matrisi kullanılmaktadır.

Bu matris değişken sayısından bağımsız olup, daha az sayıdaki gözlem sayısına bağlı olduğu için bize daha küçük bir matris ile çalışma imkanı vermektedir. Algoritma da $N \times N$ boyutlu XX' ve YY' birliktelik matrislerinin indirgenmesi temel alınmakta ve bu özellik her seferinde daha büyük matris olan X ve Y matrislerinin indirgenmesine dayanan NIPALS algoritmasına kıyasla PLS-Kernel algoritmasını daha hızlı ve bellekte daha az yer kaplayan bir algoritma haline getirmektedir.

Orijinal X ve Y matrisleri ile başlanan algoritmada aşağıdaki adımlar izlenerek bileşenler ve ağırlıkları elde edilmektedir. NIPALS algoritmasına benzer olarak bileşen sayısını göstermekte olup $a = 1, 2, \dots, A$ 'dır.

Adım 1: XX' ve YY' birliktelik matrislerinin çarpımından kernel matrisi elde edilir. $XX'YY'$

Adım 2: Bu matrise özdeğer ayrıştırması uygulanması ile elde edilen en yüksek öz değere karşılık gelen özvektör, X değişkeninin a 'ncı bileşen değerini (t_a) oluşturmaktadır.

Adım 3: Adım 2'de elde edilen t_a bileşeni normuna bölündükten sonra elde edilen yeni bileşen t_{a-yeni} ile YY' birliktelik matrisinin çarpımından, bağımlı değişkene ait u_a bileşeni elde edilir.

Adım 4: Klasik algoritmadakine benzer olacak şekilde bileşen değerlerini elde etmek için, Adım 2 ve Adım 3 'de elde edilen bileşen değerleri aşağıdaki şekilde tekrar ölçeklendirilir.

$$u_{a-geciş} = u_a / (t_a' F_{a-1} F_{a-1}' t_a) \quad (6.10)$$

$$w'w = u_{a-geciş}' E_{a-1} E_{a-1}' u_{a-geciş} \quad (6.11)$$

$$T_{a-ölçek} = t_a \sqrt{w'w} \quad (6.12)$$

$$U_{a-ölçek} = u_{a-geçiş} \sqrt{w'_a w_a} \quad (6.13)$$

Tekrar ölçeklendirmeyi sağlamak için $u_{a-geçiş}$ olarak tanımlandırılan geçiş vektörü kullanılmaktadır

Adım 5 $X_{a+1} X'_{a+1} \rightarrow G_a X_a X'_a G_a$ ve $Y_{a+1} Y'_{a+1} \rightarrow G_a Y_a Y'_a G_a$ eşitlikleri ile indirgenmiş birliktelik matrisleri elde edilmektedir. Burada $G_a = I - t_a t'_a$ dır.

Adım 6: Ağırlık matrisi W ve yük matrisleri P ve C 'yi oluşturacak vektörler aşağıdaki eşitliklerle elde edilir.

$$W_a = X'_a u_a \quad (6.14)$$

$$P_a = (X'_a t_a) (t'_a t_a)^{-1} \quad (6.15)$$

$$c_a = (Y'_a t_a) (t'_a t_a)^{-1} \quad (6.16)$$

Bu adımlarla, bileşen sayısı elde edilinceye kadar algoritmaya devam edilir. A

PLS-Kernel algoritması değişken sayısının gözlem sayısından çok olduğu durumda NIPALS algoritmasına kıyasla daha hızlı bir algoritmadır. Bağımlı değişken sayısının tek olduğu durumda ise u vektörlerinin yakınsaması tek yinelemede sağlandığı için NIPALS algoritması PLS-Kernel algoritmasına tercih edilmektedir”

KKER yöntemi kullanılarak elde edilen model sonuçları Tablo 6.11~6.15'te sunulmaktadır. KKER modellerinin, SIDRA sonuçları ile karşılaştırılması da Şekil 6.15~6.19 arasında sunulmuştur. Şekiller incelendiğinde, KKER yönteminden elde edilmiş olan modellerin, SIDRA'dan hesaplanan yakıt tüketimi ve emisyon salımlarını temsil ettikleri söylenebilir.

Tablo 6.11: Yakıt için KKER Yöntemi Sonuçları

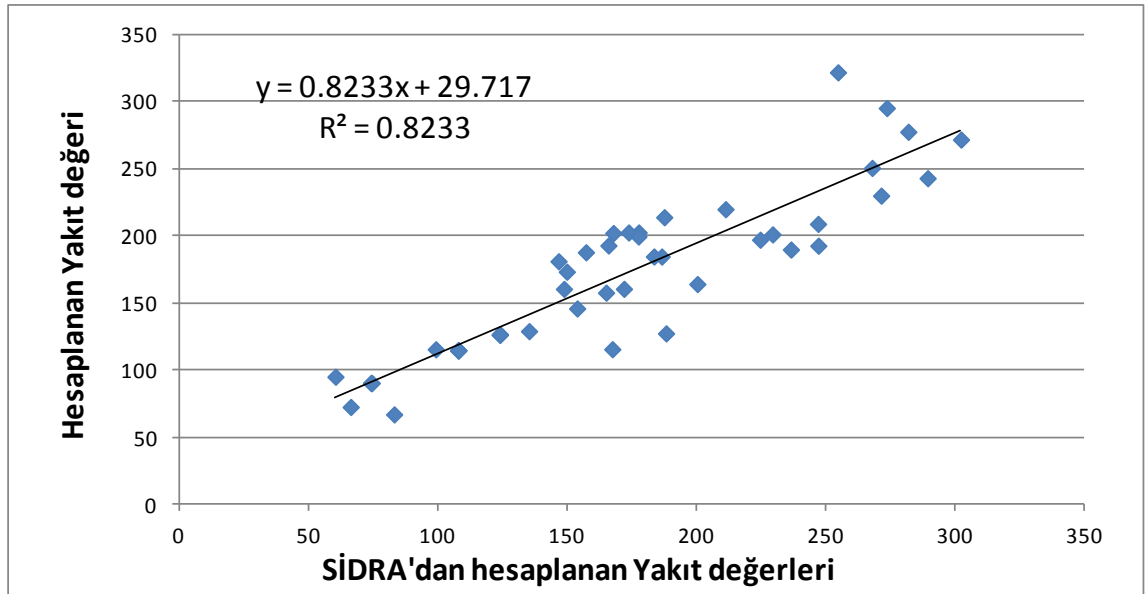
ANOVA (yakıt)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	5	171031	34206.1	39.14	0
Fark	42	36702	873.9		
Toplam	47	207733			

Yakıt için Model Seçimi ve Doğrulama

Bileşenler	x'in				
	varyansı	<i>SS</i>	<i>R2</i>	<i>PRESS</i>	<i>R2 (pred)</i>
1	0.366	74326.7	0.642	94001.7	0.547
2	0.675	50543.8	0.757	68436.2	0.671
3	0.784	39020.3	0.812	57568.3	0.723
4	0.922	36864.4	0.822	23498.8	0.742
5	1	36702.5	0.823	52671.5	0.746

Regresyon Katsayıları (standardize edilmiş)

Değişkenler	Katsayılar
Qesağ	0.391
Qedüz	0.49
Qesol	0.483
Di	-0.1291
Qc	0.6636



Şekil 6.15: Yakıt için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 6.12: CO₂ için KKER Yöntemi Sonuçları

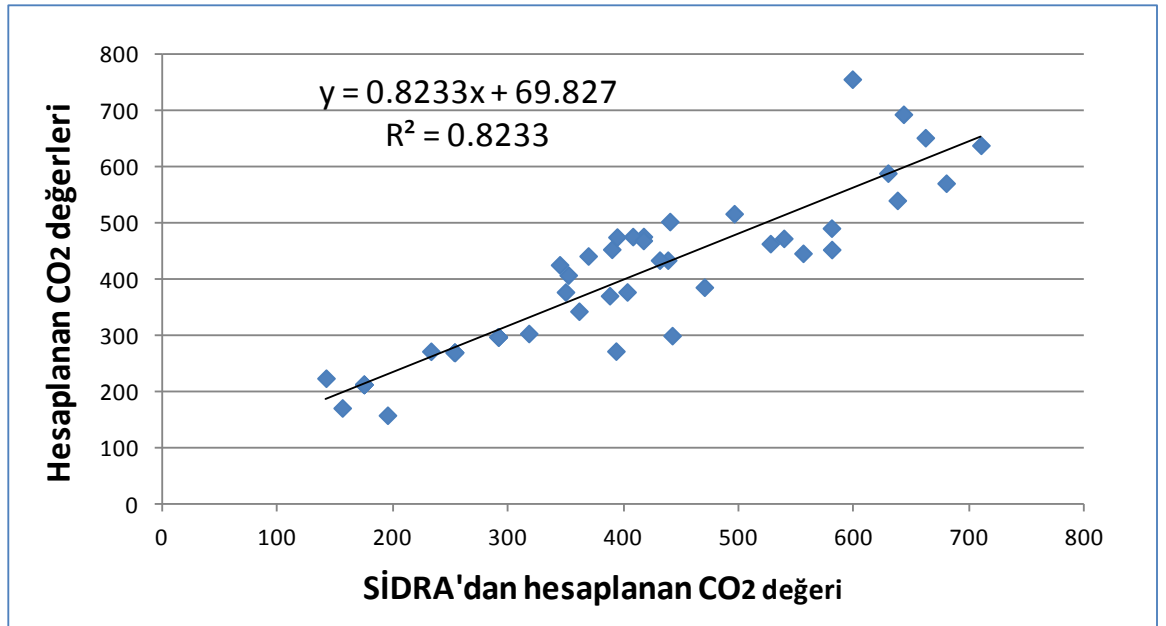
ANOVA (CO ₂)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	5	944437	188887	39.14	0
Fark	42	202673	4826		
Toplam	47	1147111			

CO₂ için Model Seçimi ve Doğrulama

Bileşenler	x'in				
	varyansı	SS	R ²	PRESS	R ² (pred)
1	0.366	140172	0.642	518746	0.547
2	0.675	278982	0.757	377702	0.671
3	0.784	215458	0.812	317804	0.723
4	0.922	203558	0.822	295346	0.742
5	1	202673	0.823	290803	0.746

Regresyon Katsayıları (standardize edilmiş)

Değişkenler	Katsayılar
Qesağ	0.39
Qedüz	0.489
Qesol	0.482
Di	-0.1289
Qc	0.6637



Şekil 6.16: CO₂ için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 6.13: CO için KKER Yöntemi Sonuçları

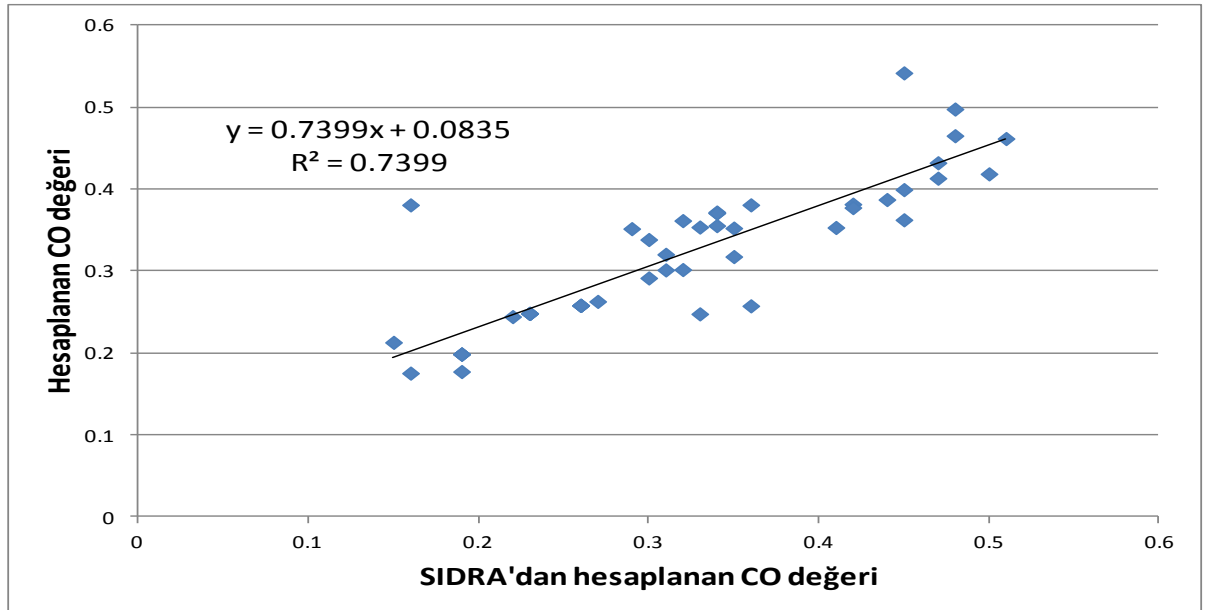
ANOVA (CO)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	5	0.036289	0.072577	23.9	0
Fark	42	0.127563	0.003037		
Toplam	47	0.490448			

CO için Model Seçimi ve Doğrulama

Bileşenler	x'in				
	varyansı	<i>SS</i>	<i>R2</i>	<i>PRESS</i>	<i>R2 (pred)</i>
1	0.366	0.199712	0.592796	0.18971	0.50154
2	0.675	0.148651	0.696908	0.181544	0.613191
3	0.784	0.135018	0.724705	0.175001	0.629841
4	0.922	0.131009	0.73288	0.168447	0.643182
5	1	0.127563	0.739905	290803	0.656545

Regresyon Katsayıları (standardize edilmiş)

Değişkenler	Katsayılar
Qesağ	0.444358
Qedüz	0.463097
Qesol	0.378989
Di	-0.070144
Qc	0.596588



Şekil 6.17: CO için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 6.14: HC için KKER Yöntemi Sonuçları

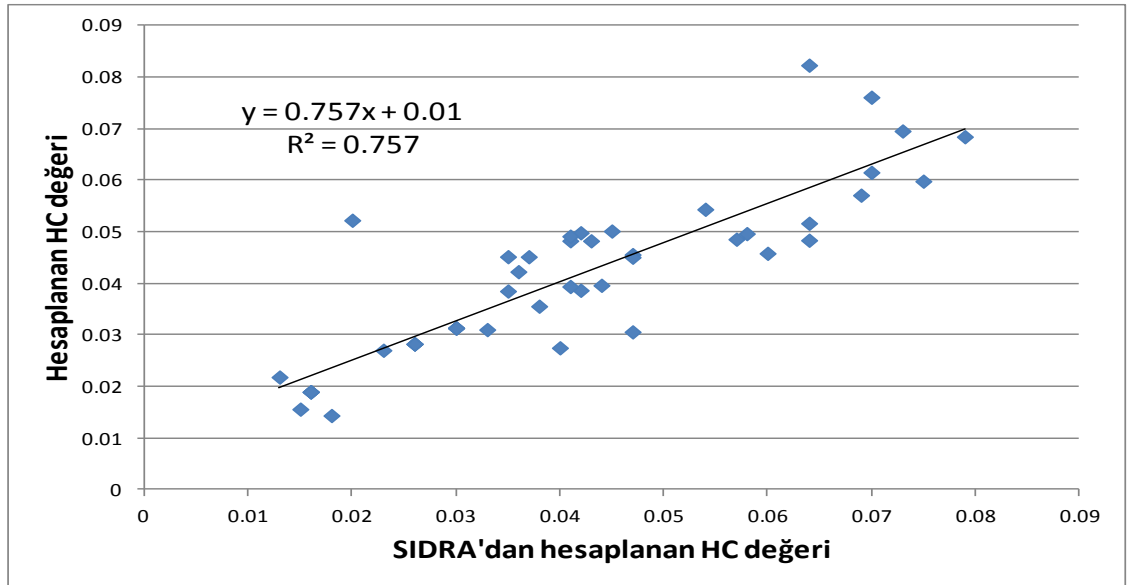
ANOVA (HC)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyor	5	0.011897	0.0023795	26.17	0
Fark	42	0.003819	0.0000909		
Toplam	47	0.015716			

HC için Model Seçimi ve Doğrulama

Bileşenle	x'in				
r	varyansı	<i>SS</i>	<i>R2</i>	<i>PRESS</i>	<i>R2 (pred)</i>
1	0.366	0.006798	0.56742	0.008322	0.470453
2	0.675	0.004676	0.702499	0.061102	0.611213
3	0.784	0.003985	0.74644	0.005553	0.646643
4	0.922	0.003826	0.756537	0.005247	0.666122
5	1	0.003819	0.757017	0.005203	0.668945

Regresyon Katsayıları (standardize edilmiş)

Değişkenler	Katsayılar
Qesağ	0.361174
Qedüz	0.482567
Qesol	0.434408
Di	-0.123209
Qc	0.655108



Şekil 6.18: HC için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 6.15: NOx için KKER Yöntemi Sonuçları

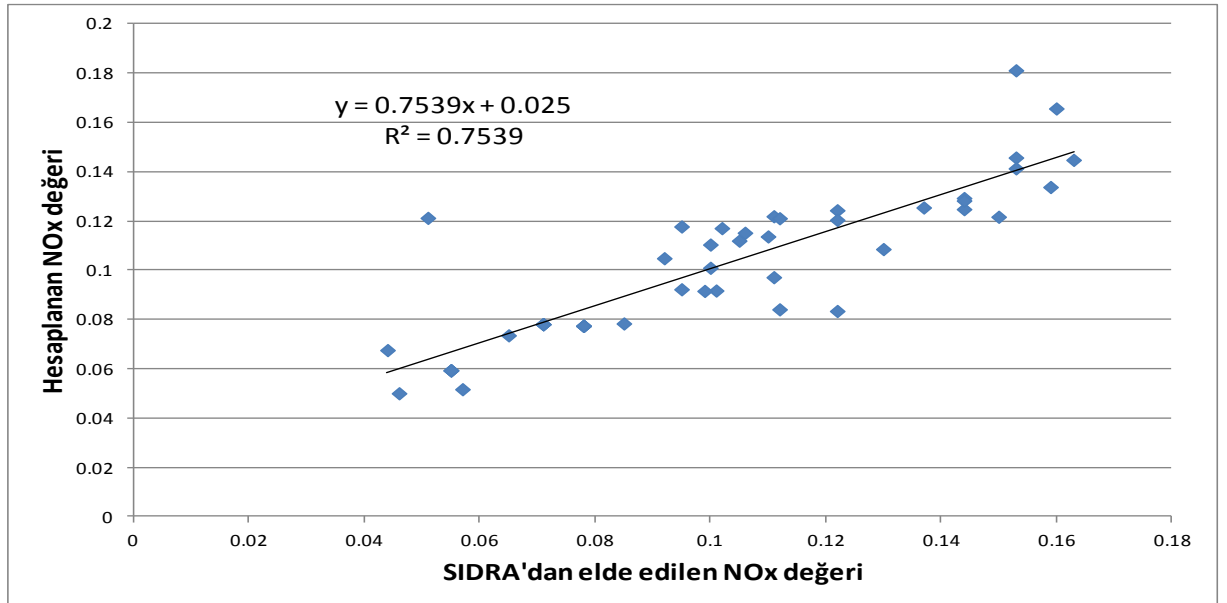
ANOVA (NOx)					
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyor	5	0.011897	0.00238	26.17	0
Fark	42	0.003819	9.09E-05		
Toplam	47	0.015716			

NOx için Model Seçimi ve Doğrulama

Bileşenle	x'in				
r	varyansı	SS	R2	PRESS	R2 (pred)
1	0.366	0.021362	0.627602	0.026195	0.543351
2	0.675	0.01575	0.725445	0.199202	0.652741
3	0.784	0.015268	0.733847	0.020298	0.0646155
4	0.922	0.01432	0.750375	0.018924	0.6701
5	1	0.014118	0.753891	0.01855	0.676635

Regresyon Katsayıları (standardize edilmiş)

Değişkenler	Katsayılar
Qesağ	0.413899
Qedüz	0.414609
Qesol	0.327171
Di	0.013978
Qc	0.620932



Şekil 6.19: NOx için KKER yöntemi modeli ile SIDRA sonuçlarının karşılaştırılması

Model sonuçları irdelendiğinde, aşağıdaki bulgulara ulaşılmaktadır:

- Engelleyici akım (Q_c), çevre kirletici emisyon salımı ve yakıt tüketimi açısından ana etmen olarak ön plana çıkmaktadır.
- Yanyoldan gelerek, doğru geçiş yapacak olan trafik talebi, ikinci ana unsur olarak belirlenmiştir. Burada, düz geçiş yapacak olan sürücülerin sola ve sağa dönüş yapacak olan taşıtları beklemeleri de bir etken olarak kabul edilebilir.
- Yaklaşım kolundan sola dönmek isteyen taşıtlar, yakıt tüketiminde, CO_2 ve HC salımında kavşaktan doğru geçiş yapmak isteyen taşıtlara çok yakın bir oranda etkili görülmektedirler.
- Sağa dönüş yapan taşıtlar ise, CO ve NO_x salımında etkili parametreler olarak ön plana çıkmaktadır.
- Kavşak dıştan dışa çapının, NO_x haricinde tüm diğer parametrelerde, çevre kirliliğini azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuç dönel kavşakların; kavşağın doğru tasarlanması durumunda; taşıtların sadece hızlarını azaltmak amaçlı olarak değil; çevreyi olumlu yönde etkileyecek bir seçenek olduğunu da göstermektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada, Türkiye'deki tek şeritli dönel kavşakların çevresel etkileri üzerinde durulmuştur. Özellikle yakıt tüketimi, CO₂, CO, HC ve NO_x gibi taşıtlardan salınan çevre kirletici emisyonların üzerinde etkili olan parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde kısaca özetlenebilir:

Çalışmada, tek şeritli dönel kavşaklarda, dönüş şeridinde hareket eden taşıtlar arasındaki serbest taşıt oranı için yeni bir bağıntı önerilmiştir. Serbest araç oranının, sadece dönen trafik akımına değil, kavşağın dıştan dışa çapına ve giriş şerit genişliğine bağlı olabileceği bulunmuştur.

- Çalışmanın diğer önemli bir çıktısı ise, AASIDRA modelinde yer alan Çevre Faktörü parametresinin Türkiye koşulları için kalibre edilmesidir (ölçeklendirilmesidir). Literatürde genelde bu değer için tek bir katsayı önerilirken, Türkiye'de Çevre Faktörü değerinin özellikle yanyoldan kavşağa girmek isteyen taşıt sayısı ile ilişkili olduğu; diğer bir değişle trafik koşullarına bağlı olduğu bulunmuştur. Hesaplamalar bu değer için 0,6 ~ 1,2 arasında değiştiğini göstermiştir. Diğer bir değişle, Türkiye'de dönel kavşakların doğru tasarlanması durumunda, Avustralya'ya oranla daha yüksek kapasiteler elde edilebilecektir.
- Kalibrasyon modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar, Türkiye'deki dönel kavşakların doğru tasarlanmaları durumunda ayrıca daha düşük yakıt tüketimi ve emisyon salımı sağlayabilecekleri anlaşılmıştır.
- Türkiye'de tek şeritli dönel kavşaklarda, yakıt tüketimi ve emisyon salımında, engelleyici akımın ana etmen olduğu görülmektedir. Engelleyici akım değeri ne kadar büyükse, yanyoldaki kuyruk uzunluğu, bekleme süresi ve bunlara bağlı yakıt tüketimi o oranda yüksek olacaktır.
- Kavşakların yaklaşımına ait, dıştan dışa çap değerinin büyüklüğü arttıkça, yakıt tüketimi, CO₂, CO ve HC salım oranları da düşmektedir. Sadece NO_x değeri artmaktadır ki, bu değer hız arttıkça yükseldiği 5. Bölümde vurgulanmıştır. Dönel kavşaklar, yanyoldaki taşıtların kavşağa daha güvenli ve rahat giriş yapmalarını sağladıklarından, çevreye daha duyarlı tasarımlar

olarak kabul edilebilir. Burada kavşanın dıştan dışa çapının artmasının, çevresel etkileri azalttığı bulunmuştur. Bu değer, kesişme açısı ile de yakından ilişkilidir ki Coelho v.d. (2006) tarafından bulunan sonuçları da desteklemektedir.

Çalışmanın, büyük oranda yapılan bazı kabullere bağlı olduğu söylenebilir. Eş zamanlı taşıt sayımı ve emisyon ölçümleri ile ileride daha sağlıklı sonuçların elde edilmesi hedeflenmektedir.

8. KAYNAKLAR

Akçelik R. (1998)”. Roundabouts : Capacity and Performance Analysis”, *ARRB Research Report ARR 321*, Vermont, Australia.

Akçelik R. and Chung, E. , (1994). Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways. *Road & Transport Research*, 3, 42-59.

Akçelik and Associates (2013). *Quick guide to SIDRA intersection 6 Beta Version*. Management Systems Registered.

Bulut, E ve Alın, Av (2009). Kısmi en küçük kareler regresyon yöntemi algoritmalarından Nipals ve PLS - Kernel algoritmalarının karşılaştırılması ve bir uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24, 2, 127-138.

Cowan , R.C. (1975). Useful headway models. *Transportation Research*, 9, 371-375.

Çalışkanelli, P., Ozuysal, M., Tanyel, S., Yayla N. (2009). Comparison of diferent capacity models for trafic circles. *Transport*, 24 (4), 257- 264.

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

De Jong, S., TerBraak, C.J.F. (1994). Comments on the Kernel algorithm. *Journal of Chemometrics*, 8, 169-174.

Gedizoğlu, E. (1979). Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerin davranışlarına gore pratikkapasite saptanması için bir yöntem. Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, İstanbul.

Hagrind, O., (1996). Roundabout entry capacity , *Bulletin 135*. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund.

Hagring, O. (1998). Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity, *Bulletin 159*. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund.

Helland, S. I. (2001). Some theoretical aspects of partial least squares regression. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58, 97-107.

Höskuldsson, A. (1988). PLS Regression Methods. *Journal of Chemometrics*, 2, 211-228.

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*, Brussels, Belgium, October 3-14.

Kimber, R. M. (1980). The traffic capacity of roundabouts, *TRRL Laboratory Report 942*, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK.

Kutlu, K. , (1991). *Trafik Tekniği*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Lindgren, F., Geladi, P., Wold, S. (1993). The Kernel algorithm for PLS. *Journal of Chemometrics*, 7, 45-59.

Luttinen, R. T., (1996). *Statistical analysis of vehicle time headways*. Teknillienkorkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu, Otaniemi.

Luttinen, R. T., (1999). Properties of Cowan M3 headway distribution, *Transportation Research Board 1999 Annual Meeting Preprints*, TRB, Washing.

Ouston, L. and Bared, J.G. (1995). *Roundabouts, Public Roads*. Turner Fairbank Highway Research Center, Mclean, Virginia, USA on D.C., USA.

Simon, M., (1991). Roundabouts in Switzerland-recent experiences, capacity, Swiss roundabout guide, *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany, 41-52.

Stuwe, B., (1991). Capacity and safety of roundabouts in Germany, *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany, 1-12.

Sullivan, D. P. and Troutbeck, R., (1994). The use o Cowan's M3 distribution for modeling urban traffic flow. *Traffic Engineering & Control*, 35(7/8), 445-450.

Statens, V. (1995). CAPCAL Model Description Fourpart Intersection without Traffic Signals, Signalized Intersection, Roundabouts, Economic Cost, *Report 1995 : 007E-1995:010E*, Borlange, Sweden.

Taekratok, T. (1998). *Modern Roundabouts for Oregon*. Oregon Department of Transportation Research Unit, Salem, Oregon

Tanner, J.C. (1967). The Capacity of Uncontrolled Intersection. *Biometrika*, 54 (3-4), 163-7-170.

Tanyel, S. (2001). Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi. Doktor Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Tanyel, S. ve Yayla, N. (2010). Yuvarlakada kavşakların kapasiteleri üzerine bir tartışma. *İMO Teknik Dergi*, 2010 4935-4958.

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 parametres, *Traffic Engineering & Control*, 38(11), 600-603.

Transportation Research Bord (TRB) (2000). *Highway Capacity Manual*. National Research Council, Washington D.C., U.S.A.

Transportation Research Bord (TRB) (2010). *Highway Capacity Manual*. National Research Council, Washington D.C., U.S.A.

Umar, F. ve Yayla, N. (1992). *Yol inşaatı*. İ.T.Ü. inşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Rännar, S., Lindgren, F., Geladi, P., Wold, S. (1994). A PLS Kernel algorithm for data sets with many variables and fewer objects. Part1: Theory and Algorithm. *Journal of Chemometrics*, 8, 111-125.