

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ŞEHİRİÇİ KAVŞAKLARDAKİ GEOMETRİK DİSİPLİNSİZLİĞİN
OPTİMİZE EDİLEREK İRDELENMESİ**

Metin Mutlu AYDIN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

KASIM 2017

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ŞEHİRİÇİ KAVŞAKLARDAKİ GEOMETRİK DİSİPLİNSİZLİĞİN
OPTİMİZE EDİLEREK İRDELENMESİ**

Metin Mutlu AYDIN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KASIM 2017

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİRİÇİ KAVŞAKLARDAKİ GEOMETRİK DİSİPLİNSİZLİĞİN
OPTİMİZE EDİLEREK İRDELENMESİ**

Metin Mutlu AYDIN
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

**(Bu tez T.C. Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi tarafından FDK-2017-2457 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

KASIM 2017

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİRİÇİ KAVŞAKLARDAKİ GEOMETRİK DİSİPLİNSİZLİĞİN OPTİMİZE
EDİLEREK İRDELENMESİ**

Metin Mutlu AYDIN
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 09/11/2017 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU (Danışman)

Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

Prof. Dr. Ali TOPAL

Yrd. Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

ÖZET

ŞEHİRİÇİ KAVŞAKLARDAKİ GEOMETRİK DİSİPLİNSİZLİĞİN OPTİMİZE EDİLEREK İRDELENMESİ

Metin Mutlu AYDIN

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Kasım 2017; 201 Sayfa

Gelişmemiş ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde şehiriçi yolların planlanma ve inşa aşamalarında gerek plancıların bilgi eksikliği ve tecrübesizliği gerekse karar vericilerin politik davranması sonucu plansız ve işlevsiz kavşaklar inşa edilmektedir. Belirli bir standarda göre inşa edilmeyen bu kavşaklar gerekli hizmeti verememekte ve dolayısıyla şehiriçi kavşaklarda işletim ve güvenlik problemleri gözlemlenmektedir. Bu problemler, sürücülerini agresif davranma ve kurallara uymama konusunda daha fazla teşvik etmekte ve bu yüzden her gün çok sayıda trafik kazası meydana gelmektedir. Ne yazık ki Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı birçok ülkede ulaştırma alanındaki yetkililer, bu güvenlik hedefi yerine kavşak kollarından daha fazla araç geçirme arzusunun ön planda tutulmaktadır. Bu tutum ise kavşak kollarında illegal ek şerit oluşumunu tetikleyerek trafik karmaşası sorununu devam ettirmekte ve kazaların oluşumunu sürekli hale getirmektedir. Bu tez kapsamında belirtilen tüm bu sorunların çözümüne yönelik pilot kent olarak seçilen Antalya'daki belirli şehiriçi kavşaklarda mevcut bu sorunlar tespit edilmiş ve bu sorunlu kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluklarını hesaplamak için literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden olan HCM 2000, HCM 2010 ve Avustralya (Akçelik) yöntemleri seçilmiş ve kullanılmıştır. Bu yöntemler ile yapılan hesaplamalardan, gelişmiş ülkeler tarafından önerilen bu yöntemlerin Türkiye'deki sinyalize kavşak kollarındaki illegal ek şerit oluşumunu durumlarını değerlendirmede yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu sorunu çözmek amacıyla seçilen mevcut bu üç yöntem temel alınmış ve Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemi kullanılarak seçilen bu yöntemlerin yeni parametreler (Ek Şerit Sayısı, Mevcut Şerit Sayısı ve Platform Genişliği) ile modifiye edilmesiyle Türkiye'ye özgü yeni ve modifiye yöntemler önerilmiştir. Önerilen bu modifiye yöntemleri kullanarak yeni geometri için gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yapan ve Türkiye'deki sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklarda mevcut geometri problemlerini çözerek kavşak kollarında karmaşayı önleyen DE-INT (Design of Intersections) isimli bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen bu programın doğru sonuçlar verip vermediğini kontrol etmek amacıyla bu program tarafından önerilen geometri ve hesaplamalarda kullanılan veriler bir mikro trafik simülasyon programı olan Vissim programında da uygulanmış ve her iki programla yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalardan gecikme hesabı için iki program arasındaki hata farkının %7,1, kuyruk uzunluğu içinse bu farkın %5,3 olduğu tespit edilmiştir. İki program arasındaki birbirine bu yakın sonuçların geliştirilen DE-INT programı ile yapılan hesaplamaların doğruluğunu desteklediği görülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında geliştirilen DE-INT programı kullanılarak sinyalize olmayan kavşaklarda yapılan geometrik düzenlemelerin

analizinden, program tarafından kollar için önerilen yeni geometrilerin kavşaklardaki bekleme sürelerini azalttığı ve kavşaklarda güvenliği arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ile incelenen kavşak kollarındaki geometrik disiplinsizliğin önlenmesinin (illegal ek şerit oluşumu, karmaşa ve güvenlik probleminin önlenmesinin) sonuçlarının gecikme ve kuyruk uzunluğu cinsinden ne olacağı sorusuna nicel olarak cevap bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Geometrik disiplinsizlik, Kavşak, Optimizasyon, Trafik simülasyonu, Yapay arı kolonisi algoritması.

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU (Danışman)

Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

Prof. Dr. Ali TOPAL

Yrd. Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF GEOMETRIC INDISCIPLINE AT URBAN INTERSECTIONS BY OPTIMIZING

Metin Mutlu AYDIN

Phd Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Asst Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

November 2017; 201 pages

In the developing countries including Turkey, the unplanned and nonfunctional intersections are being built because of the lack of knowledge and inexperience of planners and decision makers. These intersections, which are not constructed according to a specifications, are unable to provide the necessary service quality and therefore operational and traffic safety problems are observed. These phenomena encourage the drivers to act aggressively without complying the rules, and thus many traffic accidents happen everyday. Unfortunately, in many countries involving Turkey, the traffic authorities willing to plan the intersections with the goal of increasing the intersection capacity rather than ensuring the traffic safety. This attitude leads to the formation of illegal additional lanes in the intersection legs, thus traffic congestion problems and unwilling accidents are observed continuously. In the scope of thesis, the aforementioned problems were identified at the intersections of the pilot city of Antalya/Turkey and HCM 2000, HCM 2010 and Australia (Akçelik) methods which are widely used in the literature were implemented to calculate the delay and queue lengths at intersections. It has been observed that these aforementioned methods, proposed for the developed countries, are insufficient in calculating the delay and queue lengths at signalized intersections of Antalya city due to the lack of evaluating the illegal additional lane formations at intersection legs. To solve mentioned problem, new and modified methods for Turkey have been proposed by modifying these selected methods using Artificial Bee Colony (ABC) optimization method with new parameters (additional lane number, current lane number and platform width). A new program named as DE-INT (Design of Intersections) has been developed in order to design a geometry and prevent complexity for intersection legs by solving existing geometry problems at signalized and unsignalized intersections in Turkey. DE-INT is also has capability of implementing the modified methods proposed in this study for calculating the delays and queue lengths for the selected intersection geometry. For validating the results of the developed program, a micro traffic simulation software Vissim was used as a validation tool. The Vissim traffic analysis results were compared with the proposed computer program. This comparison clearly demonstrated that, the delay results of both programs were deviated as 7.1% and also the difference between the queue lengths was 5.3%. These aforementioned results are direct evidence of DE-INT computer program that analysis the intersections within the acceptable error limits. In addition, it was determined from the analysis for the unsignalized intersections using the DE-INT program that the suggested geometries for the intersection legs reduce the delay times at intersections and increase the traffic safety. The obtained results of the

study also were quantitatively answered the outcomes of solving the illegal lane formation problems at intersection legs with respect to the delay and queue lengths.

KEYWORDS: Geometric indiscipline, Intersection, Optimization, Traffic simulation, Artificial bee colony algorithm.

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU (Supervisor)

Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

Prof. Dr. Ali TOPAL

Asst. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ



ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında farklı bakış açısı, derin tecrübesi ve yol gösterici önerileriyle her zaman desteklerini aldığım tez danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. İbrahim Aydoğdu ve Prof. Dr. Yetiş Şazi Murat'a, katkılarından dolayı değerli jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Mustafa Karasahin, Prof. Dr. Ali Topal ve Yrd. Doç. Dr. Sevil Köfteci'ye,

Doktora süresince aynı odayı paylaştığım ve onunla olmaktan her zaman keyif aldığım gerçek bir dost olan Arş. Gör. Kadir Akgöl'e, tez sırasında ihtiyaç duyduğum konularda her zaman yanımda olan arkadaşlarım Arş. Gör. Mehmet Sinan Yıldırım, Arş. Gör. Halil Anaç ve Arş. Gör. Ziya Çakıcı'ya, tezimin başından sonuna her koşulda yanımda olan değerli öğrencim Eren Dağlı'ya,

Yüksek lisans tez çalışmam da olduğu gibi yine arazi gözlem çalışmalarımın her aşamasında sahada yanımda olan ve karşılaştığım her türlü sorunun çözümünde en büyük destekçim olan babam Celal Aydın'a ve doktora öğrenimim süresince bana hep destek veren canım ailelerim AYDIN ve KÖK ailelerine,

Ayrıca tezimin başından sonuna karşılaştığım tüm olumsuzluklarda koşulsuz yanımda olan en büyük paydaşım ve destekçim olan canım eşim ve meslektaşım Arş. Gör. Ruveyde Aydın'a teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımlanması	1
1.2. Problem Hakkında Genel Bir Değerlendirme	5
1.3. Tezin Amacı	6
1.4. Tezin Kapsamı.....	6
2. KAYNAK TARAMASI VE KAVRAMSAL BİLGİLER.....	8
2.1. Şehiriçi Kavşaklardaki Problemleri İnceleyen Önceki Çalışmalar	8
2.2. Optimizasyon Teknikleri ve Trafik Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı	11
2.3. Kavşaklar Hakkında Temel Bilgiler	13
2.3.1. Eşdüzey (Hemzemin) kavşaklar	15
2.3.1.1. Eşdüzey kavşakların temel tasarım özellikleri ve tasarımda dikkat edilmesi gereken parametreler	16
2.3.2. Eşdüzey kavşaklardaki trafik akım karakteristikleri.....	18
2.3.3. Eşdüzey kavşaklarda sinyalizasyon.....	19
2.3.3.1. Sinyalizasyon sistemlerindeki temel kavramlar.....	20
2.3.3.2. Sinyalizasyon sistemlerinin türleri.....	21
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Analizlerde Kullanılacak Verilerin Elde Edilmesi	23
3.1.1. Geometri problemine sahip incelenecek şehiriçi kavşakların belirlenmesi.....	23
3.2. Geometri Problemine Sahip Kavşakların Geometrik ve Karakteristik Özelliklerinin Belirlenerek Gözlem Verilerinin Toplanması	37
3.3. İncelenen Kavşakların Mevcut Performanslarının Belirlenmesi.....	44
3.3.1. Kavşak kollarındaki doygun akım oranının hesaplanması	44
3.3.2. Kavşak kollarındaki kapasitenin hesaplanması	46

3.3.3. Hacim/Kapasite (v/c) oranının hesaplanması	48
3.3.4. Gecikmenin belirlenmesi	49
3.3.5. Kavşakların hizmet seviyelerinin belirlemesi.....	50
3.4. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon Yöntemi	51
4. BULGULAR	54
4.1. İncelenen Kavşakların Mevcut Performanslarının Belirlenmesi.....	54
4.2. Seçilen Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Yöntemleri.....	83
4.2.1. Gecikme hesabı yöntemleri	83
4.2.1.1. Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) yöntemi.....	83
4.2.1.2. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) yöntemi.....	85
4.2.1.3. Avustralya (Akçelik) yöntemi.....	87
4.2.2. Kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri.....	88
4.2.2.1. Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) yöntemi.....	88
4.2.2.2. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) yöntemi.....	89
4.2.2.3. Avustralya (Akçelik) yöntemi.....	90
4.3. Kavşaklardaki Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri ile Seçilen Yöntemlerle Hesaplanan Değerlerin Karşılaştırılması	91
4.4. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Optimizasyonu ile Mevcut Yöntemlerin Modifiye Edilmesi.....	101
4.5. Sinyalize Kavşaklarda Gecikme ve Kuyruk Uzunluk Hesaplanmaları Yapmak için Önerilen Yeni Modifiye Denklemler	105
4.5.1. Önerilen modifiye gecikme değeri hesap yöntemleri	105
4.5.1.1. Gecikme yöntem 1 (Modifiye HCM 2010)	105
4.5.1.2. Gecikme yöntem 2 (Modifiye HCM 2000)	106
4.5.1.3. Gecikme yöntem 3 (Modifiye Avustralya)	106
4.5.2. Önerilen modifiye kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri	106
4.5.2.1. Gecikme yöntem 1 (Modifiye HCM 2010)	106
4.5.2.2. Gecikme yöntem 2 (Modifiye HCM 2000)	106
4.5.2.3. Gecikme yöntem 3 (Modifiye Avustralya)	106
4.6. Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri ile Önerilen Modifiye Denklemler Kullanılarak Hesaplanan Değerlerin Karşılaştırılması ..	107

4.7. Geliştirilen Modifiye Denklemler Kullanarak Kavşaklardaki Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerlerini Hesaplayan Bir Program Geliştirilmesi	116
4.8. Geliştirilen Modifiye Denklemleri Kullanarak Kavşaklar için Yeni Geometrik Tasarım Yapan ve Bu Yeni Tasarıma Göre Kavşaklarda Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Hesaplayan Bir Program Geliştirilmesi.....	122
4.9. Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri ile DE-INT Programı ile Önerilen Değerlerin Karşılaştırılması	131
4.10.DE-INT Programı ile Önerilen Kavşak Tasarımlarının Bir Mikro Trafik Simülasyon (Vissim) Programı ile İrdelenmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması	144
4.10.1. DE-INT programı ile önerilen kavşak geometrilerinin Vissim programında çizilmesi ve kavşaklara ait mevcut verilere göre analizi....	145
5. TARTIŞMA	162
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	169
7. KAYNAKLAR	173
8. EKLER	178
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “ŞEHİRİÇİ KAVŞAKLARDAKİ GEOMETRİK DİSİPLİNSİZLİĞİN OPTİMİZE EDİLEREK İRDELENMESİ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

09/11/2017

Metin Mutlu AYDIN



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$\bar{A}_t$	: Gerçek değerlerin ortalaması
$\bar{F}_t$	: Tahmin edilen değerlerin ortalaması
A_t	: Gerçek değer
D_0	: Doygunüstü akım gecikmesi (sn)
D_u	: Uniform gecikme (sn)
F_t	: Tahmin edilen değer
N_0	: Taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit var ise tüm şeritlerdeki toplam taşıt sayısıdır)
N_f	: Kuyruk uzunluğu (taşıt/devre)
N_r	: Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı
N_u	: Uniform bileşen
P_{HV}	: Ağır araç oranı
Q_M	: HCM 2000 yöntemine göre maksimum kuyruk uzunluğu (taşıt/devre)
Q_M	: Maksimum kuyruk uzunluğu (taşıt/devre)
Q_b	: Analiz periyodunun başlangıcındaki mevcut başlangıç kuyruğu (taşıt)
Q_e	: Analiz periyodunun sonundaki mevcut kuyruk (taşıt/devre)
Q_{eo}	: Analiz periyodunun sonundaki mevcut başlangıç kuyruğu eğer $v \geq c_A$ ve $Q_b = 0,0$ (taşıt)
S_a	: Kola yaklaşan taşıtların ortalama hızı (m/sn)
S_{pl}	: Hız limiti değeridir (km/saat)
S_s	: Durma eşik hızı ($\cong 29$ m/sn)
T_f	: Akım süresi (saat cinsinden trafik hacim değerinin elde edildiği süre)
X_c	: Kavşak için kritik (v/c) oranı
c_A	: Ortalama şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat)
d_1	: Uniform varışlar kabulüyle ortalama uniform gecikme (sn/taşıt)

d_2	: Rastgele varışların ve doygun akımdaki kuyrukların etkisini açıklama için eklenik gecikme değeri
d_3	: Başlangıç kuyruk gecikmesi (sn/taşıt)
d_a	: İvmelenme-ters ivmelenme gecikmesi (sn)
f_{HV}	: Ağır araç düzeltme faktörü
f_{LT}	: Sola dönen taşıt varlığı için düzeltme faktörü
f_{LU}	: Şerit kullanımı için düzeltme faktörü
f_{Lpb}	: Sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü
f_{PA}	: Yeşil sürede gelen taşıtlar için tamamlayıcı düzeltme faktörü
f_{RT}	: Sağa dönen taşıt varlığı için düzeltme faktörü
f_{Rpb}	: Sağa dönüşler için yaya-bisiklet düzeltme faktörü
f_a	: Alan tipi için düzeltme faktörü
f_{bb}	: Otobüs durma etkisi düzeltme faktörü
f_g	: Kol eğimi düzeltme faktörü
f_p	: Park şeridi ve parklanma aktivitesi düzeltme faktörü,
f_v	: Trafik akımı için düzeltme faktörü
f_w	: Şerit genişliği düzeltme faktörü
l_1	: Başlangıç kayıp süre (2 sn)
l_2	: Son kayıp süre (2 sn)
q_g	: Efektif yeşil sürede gelen akım oranı (taşıt/sn)
q_r	: Efektif kırmızı sürede gelen akım oranı (taşıt/sn)
r_a	: İvmelenme oranı (1,05 m/sn ²)
r_d	: Ters ivmelenme oranıdır (1,2 m/sn ²)
s_0	: Standart doygun akım oranı (1900 taşıt/saat/şerit)
t_A	: Analize periyodu boyunca karşılaşılmayan talebin düzeltme süresi (saat)

t_Q	: HCM 2000 yöntemine göre kuyruk süresi (Kırmızıda bekleme ve boşalma süresi) (sn)
t_Q	: Kuyruk süresi (Kırmızıda bekleme ve boşalma süresi) (sn)
t_f	: Servis süresi (sn)
$\vec{x}$	: Gecikme/ kuyruk uzunluğu yöntemlerinde kullanılan ağırlık katsayıları vektörü (tasarım değişkenleri)
x_0	: Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesi
x_{li}	: x_i ve r üzerindeki üst ve alt sınırlardır (R). (0, 1) ise 0 ile 1 arasında üretilen rastgele değer
x_{ui}	: x_i ve r üzerindeki üst ve alt sınırlardır (R). (0, 1) ise 0 ile 1 arasında üretilen rastgele değer
$y_{c,i}$	: Faz i için kritik akım oranı (taşıt/saat)
φ_{pi}	: [-1, 1] arasında üretilen rastgele bir sayı
d	: Avustralya yöntemine ortalama kontrol gecikmesi (sn/taşıt)
h	: Doygun takip mesafesi (saniye)
v	: Ortalama gelen akım oranı (taşıt/sa)
C	: Devre süresi (sn)
D	: Ortalama kontrol gecikmesi (sn/taşıt)
EKS	: İncelenen kavşak kolu için toplam ek şerit sayısı
G	: Yeşil süre (sn)
I	: Yeşiller arası süre süre (sn)
K	: Eklenik gecikme düzeltme faktörü (Ön zamanlı ise=0,5)
L	: Devre süresindeki toplam kayıp zaman (sn) ($L = \sum_{i \in ci} l_{t,i}$)
L	: Ölçüm düzeltme faktörü (İzole kavşak ise=1)
$MEVS$	: İncelenen kavşak kolundaki mevcut şerit sayısı (varsa ek şeritler dâhil)
N	: Koldaki şerit sayısı
N	: Ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre)

- N_f : HCM 2010 yöntemine göre kuyruk uzunluğu (taşıt/devre)
- N_r : Avustralya yöntemine göre kuyruktaki ortalama taşıt sayısı
- P : Yeşil sürede gelen akım oranı (ondalık)
- PF : Uniform gecikme dizisi düzeltme faktörü
- PG : İncelenen kavşak kolundaki toplam platform genişliği (m)
- Q : Kapasite (taşıt/sn)
- Q : Ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre)
- $Q \times T_f$: T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı
- R : Gerçek ortak kırmızı süre (2 sn)
- T : Analiz periyodu (saat)
- X : Doygunluk derecesi
- X : Hacim/kapasite (v/c) oranı (doygunluk derecesi)
- Y : Gerçek sarı süre (2 sn)
- Z : $X - 1$
- c : Şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat)
- c_i : Kritik koldaki kritik faz değeridir
- d : Taşıt başına kontrol gecikmesi (sn/taşıt)
- $f(x_p)$: Besin kaynağı x_p 'nin amaç fonksiyonu
- g : Herhangi bir kavşak kolundaki efektif yeşil süre (saniye)
- g/C : Yeşil sürenin devre süresine oranı
- $k \neq i$: Rastgele seçilen besin kaynağı
- n : Gecikme/kuyruk uzunluğu yöntemlerindeki toplam ağırlık katsayı sayısı
- n : Gözlem sayısı
- q : Akım oranı (taşıt/sn)
- $q \times c$: Her devre süresi içerisinde gelen ort. taşıt sayısı (q =taşıt/sn biriminde akım)
- r : Efektif kırmızı ($C - g$) süre (sn)

s : Doygun akım oranı (taşıt/saat)
 t : Analiz periyodu boyunca karşılaşılmayan talebin süresi
 u : Gecikme parametresi
 u : Yeşil süre oranı (g/C)
 v : Akım oranı talebi (taşıt/saat)
 v : Trafik hacmi (taşıt/saat)
 y : Akım oranı (q/s)

Kısaltmalar

HCM : Highway Capacity Manual (Yolların Kapasitesi El Kitabı)
GPS : The Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
YAK : Yapay Arı Kolonisi
MAE : Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
MSE : Mean Square Error (Karesel Ortalama Hata)
RMSE : Root Mean Square Error (Ortalama Karesel Hatanın Karekökü)
MAPE : Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata)
ŞG : Şerit Genişliği
YA : Yanal Açıklık
AN-CSI: Analysis of Current Signalized Intersections (Mevcut Sinyalize Kavşakların Analizi)
DE-INT: Design of Intersections (Kavşakların Taasarımı)
KYA : Kaldırım Kenarındaki Yanal Açıklık
RYA : Refüj Kenarındaki Yanal Açıklık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Antalya il sağık kavşağında gözlemlenen illegal ek şerit oluşumu ve bunun sonucunda sağı dönüşün kapanması.....	2
Şekil 1.2. Antalyaspor kavşağında iki şeritli kolda üç şeritli kuyruk oluşumu.....	2
Şekil 1.3. Markantalya kavşağında illegal ek şerit oluşumu ve bunun sonucunda kavşak içi karmaşanın oluşması	2
Şekil 1.4. Markantalya kavşağında a) kimi zaman üç şeritli, b) kimi zaman iki şeritli kuyruk oluşumu	3
Şekil 1.5. a) Sinyalize bir kavşakta meydana gelen ek dönüş cebi oluşumu ve b) düz gidiş şeritlerin sayısında meydana gelen azalma	3
Şekil 1.6. a) Dönel kavşaklarda ada çevresindeki karmaşıklık ve b) karmaşa sonucu meydana gelen bir trafik kazası	4
Şekil 1.7. Sinyalize kavşak kollarında ek şerit oluşumu.....	4
Şekil 1.8. Sinyalize olmayan kavşaklardaki kavşak içi karmaşa	5
Şekil 2.1. Antalya’da geometrisi standartlara uygun olarak tasarlanmayan örnek iki kavşak	8
Şekil 2.2. Şehiriçi eşdüzey kavşaklarda görülen bazı tasarım hatalarının gösterildiğı bir kavşak	15
Şekil 2.3. Sırasıyla dört kollu ve üç kollu eşdüzey kavşaklara ait örnek görseller.....	15
Şekil 2.4. Eşdüzey kavşaklar için özellikle tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken temel hususlar	17
Şekil 2.5. Bazı kavşak tiplerine kavşak içerisindeki karmaşa noktaları	18
Şekil 3.1. Çalışma kapsamında incelenecek olan dokuz farklı kavşak ve bu kavşakların harita üzerindeki konumları	24
Şekil 3.2. a) Seçilen 1 numaralı kavşak (Mezarlık Kavşağı) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	25

Şekil 3.3. a) Seçilen 2 numaralı kavşak (Antalyaspor Kavşağı) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	26
Şekil 3.4. a) Seçilen 3 Numaralı Kavşak (İl Sağlık Kavşağı) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	27
Şekil 3.5. a) Seçilen 4 Numaralı Kavşak (Galeria Kavşağı) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	28
Şekil 3.6. a) Seçilen 5 Numaralı Kavşak (Türkay Kavşağı) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	29
Şekil 3.7. a) Seçilen 6 Numaralı Kavşak (Konyaaltı Bel. Ek Hizmet Binası Önü) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	30
Şekil 3.8. a) Seçilen 7 Numaralı Kavşak (Konyaaltı ATM'ler) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	31
Şekil 3.9. a) Seçilen 8 numaralı kavşak (Arapsuyu Mah.) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	32
Şekil 3.10. a) Seçilen 9 numaralı kavşak (Akdeniz Ünv. Güney Kapısı) için kavşağın eski hali (dört kollu) ve b) kavşaktaki mevcut problemler	33
Şekil 3.11. a) Seçilen 9 numaralı kavşak (Akdeniz Ünv. Güney Kapısı) için kavşağın yeni hali ve b) kavşaktaki mevcut problemler	34
Şekil 3.12. İncelenen kavşaklara ait geometrik ölçümlerin yapılması.....	37
Şekil 3.13. İncelenen kavşaklardan video kamera sistemleri yardımıyla verilerin toplanması.....	43
Şekil 3.14. Sinyalize kavşak kolunda hacim ve kapasite değerlerinin şekil üzerinde gösterimi	47
Şekil 3.15. GPS özelliği bulunan araç kamerası yardımıyla kavşak kollarındaki taşıt başına ortalama gecikmelerin belirlenmesi	50

Şekil 3.16. Yapay arı kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemine göre arıların çalışma prensibi.....	51
Şekil 4.1. Kavşak 1'e ait faz planı	55
Şekil 4.2. Kavşak 1'e ait sinyal planı.....	55
Şekil 4.3. Kavşak 2'ye ait faz planı	58
Şekil 4.4. Kavşak 2'ye ait sinyal planı.....	58
Şekil 4.5. Kavşak 3'e ait faz planı	62
Şekil 4.6. Kavşak 3'e ait sinyal planı.....	62
Şekil 4.7. Kavşak 4'e ait faz planı	66
Şekil 4.8. Kavşak 4'e ait sinyal planı.....	66
Şekil 4.9. Kavşak 5'e ait faz planı	70
Şekil 4.10. Kavşak 5'e ait sinyal planı.....	70
Şekil 4.11. Kavşak 6'ya ait faz planı	74
Şekil 4.12. Kavşak 6'ya ait sinyal planı.....	74
Şekil 4.13. Kavşak 7'ye ait faz planı	77
Şekil 4.14. Kavşak 7'ye ait sinyal planı.....	77
Şekil 4.15. Kavşak 8'e ait faz planı	80
Şekil 4.16. Kavşak 8'e ait sinyal planı.....	80
Şekil 4.17. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt)	96
Şekil 4.18. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt/devre)	100
Şekil 4.19. Yapay arı kolonisi optimizasyon yönteminin işlem adımlarını gösteren akış şeması	104
Şekil 4.20. Optimizasyon analizlerinin Microsoft Visual Basic® programlama dili kullanılarak yapılması.....	104

Şekil 4.21. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve modifiye yöntemler ile hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt).....	111
Şekil 4.22. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve modifiye yöntemler ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt/devre).....	115
Şekil 4.23. Gecikme değeri ve kuyruk uzunluğu hesabı yapan AN-CSI programının Microsoft Visual Studio 2017 ® kullanılarak hazırlanmasına ait örnek bir kod sayfası	116
Şekil 4.24. AN-CSI programı ana sayfası.....	117
Şekil 4.25. AN-CSI programında dil seçimi sonrasında gelen yöntem ve kavşak türü seçim ekranı	118
Şekil 4.26. AN-CSI programında yöntem türü ve kavşak kol sayısının seçilmesi.....	118
Şekil 4.27. Ana sayfaya dönmek ya da bir önceki sayfaya gitmek için yapılması gereken işlemler	119
Şekil 4.28. Yöntem ve kavşak türünün seçilmesi ile sonrasında hesaplama sayfasına geçilmesi.....	119
Şekil 4.29. Seçilen yöntemle hesaplama yapabilmek için doldurulması gereken alanlar.....	120
Şekil 4.30. Kullanıcıların ilgili hücreleri doldurmadan önce girmesi gereken veriler ve bu verilerin birimleri hakkında bilgi alması	120
Şekil 4.31. Analiz için gerekli tüm hücrelerin doldurulması (verilerin girilmesi) ve hesaplama işlemine geçilmesi	121
Şekil 4.32. Hesaplama sonuçlarının elde edilmesi.....	121
Şekil 4.33. Seçilecek farklı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerine göre görüntülenecek hücrelere ait görsellerin aynı ekran üzerinde gösterimi	122

Şekil 4.34. İncelenen dokuz farklı kavşak için farklı şerit genişliği (ŞG) aralıklarına göre gözlemlenen şerit sayısı	123
Şekil 4.35. İncelenen dokuz farklı kavşak için kavşak kollarındaki yanal açıklıkların (YA) değişimi	123
Şekil 4.36. DE-INT programı ana sayfa	125
Şekil 4.37. Ana sayfada dil seçimi sonrasında gelen kavşak türü, kol sayısı ile yöntem seçim ekranı ve kavşak türünün seçilmesi işlemi	125
Şekil 4.38. DE-INT programında kavşak kol sayısının seçilmesi	126
Şekil 4.39. DE-INT programında hesaplamalarda kullanılacak yöntemin seçilmesi ...	126
Şekil 4.40. Ana sayfaya dönmek ya da bir önceki sayfaya gitmek için yapılması gereken işlemler.	127
Şekil 4.41. Kavşak türü, kol sayısı ve yöntemin seçilmesi sonrasında hesaplama sayfasına gidilmesi	127
Şekil 4.42. Seçilen yöntemle hesaplama yapabilmek için doldurulması gereken alanlar.....	128
Şekil 4.43. Kullanıcıların ilgili hücreleri doldurmadan önce girmesi gereken veriler ve bu verilerin birimleri hakkında bilgi alması	128
Şekil 4.44. Analiz için gerekli tüm hücrelerin doldurulması ve hesaplama işlemine geçilmesi.....	129
Şekil 4.45. Hesap sonuçlarının elde edilmesi ve program tarafından önerilen tasarımın görüntülenmesi	129
Şekil 4.46. Program tarafından önerilen tasarımın her bir kola özgü olarak geometrik ölçüleriyle birlikte görüntülenmesi	130
Şekil 4.47. Görüntülenen kavşak tasarımına ait geometrik ölçülerin neler olduğunun tespiti.....	130

Şekil 4.48. Seçilecek farklı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerine göre görüntülenecek hücrelere ait görsellerin tek bir ekran üzerinde gösterimi.....	131
Şekil 4.49. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve DE-INT programı ile hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt).....	135
Şekil 4.50. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen ve DE-INT programı ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt/devre).....	139
Şekil 4.51. DE-INT programı tarafından önerilen geometrilere uygun olarak kavşakların çizilmesi ve kavşaklardaki mevcut trafik verilerinin programa girilmesi .	145
Şekil 4.52. Kavşak 1'in DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	146
Şekil 4.53. Kavşak 2'nin DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	147
Şekil 4.54. Kavşak 3'ün DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	147
Şekil 4.55. Kavşak 4'ün DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	148
Şekil 4.56. Kavşak 5'in DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	148
Şekil 4.57. Kavşak 6'nın DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	149
Şekil 4.58. Kavşak 7'nin DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	149
Şekil 4.59. Kavşak 8'in DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	150

Şekil 4.60. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen, DE-INT ve Vissim programları ile hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt) ...	154
Şekil 4.61. İncelenen 8 farklı sinyalize kavşağa ait ölçülen, DE-INT ve Vissim programları ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması(taşıt/devre).....	157
Şekil 4.62. Kavşak 9 sinyalize olmayan dört kollu durum için DE-INT programı tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	159
Şekil 4.63. Kavşak 9'un sinyalize olmayan dönel kavşak tasarımına göre DE-INT programı tarafından önerilen geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.....	160

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı eşdüzey kavşak tiplerinde görülen karmaşıklık noktaları, sayısı ve türleri	19
Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında incelenecek kavşakların belirlenmesi amacıyla hazırlanan kriterler	23
Çizelge 3.2. Kavşaklarda gözlemlenen problemler ve görüldüğü kavşak numaraları....	35
Çizelge 3.3. El GPS'i yardımıyla ölçülen kavşaklar arasındaki geometrik uzunluklar..	38
Çizelge 3.4. İncelenen kavşaklara ait saha ölçümlerinden elde edilen geometrik ve karakteristik özellikler	38
Çizelge 3.5. Hacim/Kapasite (v/c) oranına ait sınır değerler.....	48
Çizelge 3.6. HCM (2010)'a göre kavşakların hizmet seviyelerinin belirlenmesi.....	50
Çizelge 4.1. Kavşak 1 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	56
Çizelge 4.2. Kavşak 1 için şerit bazlı genel performans sonuçları	57
Çizelge 4.3. Kavşak 2 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	59
Çizelge 4.4. Kavşak 2 için şerit bazlı genel performans sonuçları	60
Çizelge 4.5. Kavşak 3 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	63
Çizelge 4.6. Kavşak 3 için şerit bazlı genel performans sonuçları	64
Çizelge 4.7. Kavşak 4 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	67
Çizelge 4.8. Kavşak 4 için şerit bazlı genel performans sonuçları	68
Çizelge 4.9. Kavşak 5 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	71
Çizelge 4.10. Kavşak 5 için şerit bazlı genel performans sonuçları	72

Çizelge 4.11. Kavşak 6 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	75
Çizelge 4.12. Kavşak 6 için şerit bazlı genel performans sonuçları	76
Çizelge 4.13. Kavşak 7 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	78
Çizelge 4.14. Kavşak 7 için şerit bazlı genel performans sonuçları	79
Çizelge 4.15. Kavşak 8 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.....	81
Çizelge 4.16. Kavşak 8 için şerit bazlı genel performans sonuçları	82
Çizelge 4.17. Mevcut gecikme (sn/taşıt) değerleri ile seçilen yöntemler kullanılarak hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması	92
Çizelge 4.18. Mevcut kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) değerleri ile seçilen yöntemler kullanılarak hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması.....	97
Çizelge 4.19. Yapay Arı Kolonisi optimizasyon yönteminde kullanılan sabit parametre değerleri.....	105
Çizelge 4.20. Geliştirilen modifiye gecikme (sn/taşıt) ve kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) yöntemlerindeki değişkenlere ait katsayılar	107
Çizelge 4.21. Geliştirilen modifiye gecikme yöntemleri ve mevcut yöntemler ile hesaplanan gecikme değerlerinin (sn/taşıt) karşılaştırılması.....	108
Çizelge 4.22. Geliştirilen modifiye kuyruk uzunluğu yöntemleri ve mevcut yöntemler ile hesaplanan kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) değerlerinin karşılaştırılması.....	112
Çizelge 4.23. DE-INT programı ile önerilen ve gerçek gecikme değerlerinin (sn/taşıt) karşılaştırılması	132

Çizelge 4.24. DE-INT programı ile önerilen ve gerçek kuyruk uzunluğu değerlerinin (taşıt/devre) karşılaştırılması.....	136
Çizelge 4.25. DE-INT programı tarafından incelenen 9 farklı kavşak için önerilen geometrik ölçüler	140
Çizelge 4.26. DE-INT ve Vissim ile hesaplanan gecikme değerlerinin (sn/taşıt) gerçek değerler ile karşılaştırılması	151
Çizelge 4.27. DE-INT ve Vissim ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin (taşıt/devre) gerçek değerler ile karşılaştırılması.....	155
Çizelge 4.28. Dört kollu sinyalize olmayan ve dönel kavşaklardaki taşıt hareketlerinin karşılaştırılması	158
Çizelge 4.29. Sinyalize olmayan dört kollu ve dönel kavşaklar için Vissim ile hesaplanan gecikme (sn/taşıt) ve kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) değerleri.....	160
Çizelge 4.30. Kavşaklar arası uzunluklar ile DE-INT ve Vissim ile önerilen kuyruk uzunluklarının karşılaştırılması.....	166

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımlanması

Gelişmemiş ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde ne yazık ki şehiriçi yolların planlanma ve inşa aşamalarında, gerek plancılarının bilgi eksikliği ve tecrübesizliği gerekse karar vericilerin politik davranması sonucu plansız, düzensiz ve işlevsiz yollar ve kavşaklar inşa edilmektedir. Özellikle belirli bir standarda göre inşa edilmeyen bu yollar ve kavşaklar günümüz şartlarında gerekli hizmeti verememekte, dolayısıyla bu yol ve kavşaklarda uzun kuyruklar, kural ihlalleri, trafik kazaları, agresif sürücü davranışları vb. işletim ve güvenlik problemleri gözlemlenmektedir. Bu problemler, sürücüleri agresif davranma ve kurallara uymama konusunda daha fazla teşvik etmekte ve bunun sonucunda da her gün onlarca trafik kazası meydana gelmektedir. Türkiye'de, 2016 yılı için şehiriçi yollarda meydana gelen trafik kazalarına ait istatistikler incelendiğinde, kazaların yaklaşık olarak %60'ının yolların geometrik tasarımı ile ilişkili olduğu ve bu durumun sürücüleri kuralları ihlal etmeye teşvik etmesinden kaynaklandığı görülmektedir. Gözlemlenen bu yüksek kaza istatistiği, yollardaki geometrik disiplinsizliğin ne kadar büyük ve olumsuz sonuçlara sebep olduğunu açıkça göstermektedir (TÜİK 2016).

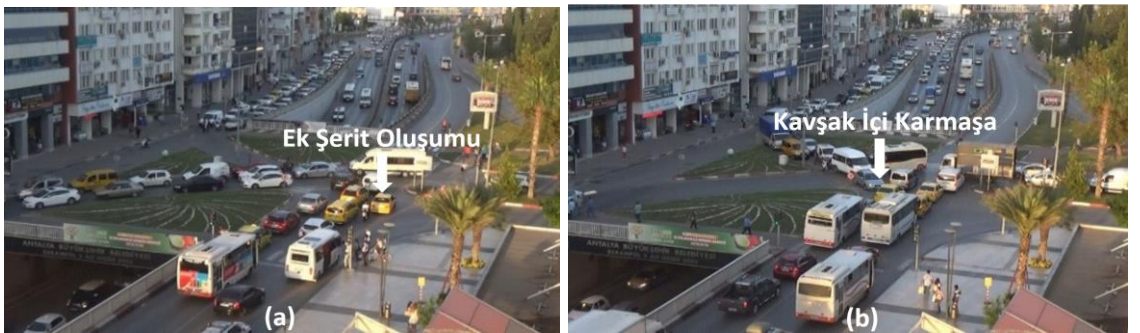
Son yıllarda Türkiye'de kavşakların yeniden düzenlenmesi konusuna ilgide artış olmasına rağmen yetkililerin tasarım ve standartlar konusunda bilgi ve deneyim eksikliğinin bulunması, onları yalnızca kapasiteyi artırıcı çözümler üretmeye teşvik etmektedir. Bu kısıtlı çözümler yukarıda değinildiği gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Örneğin, Türkiye'deki şehiriçi kavşaklarda geometriden kaynaklanan ve sık görülen problemlerin başında kavşak kollarındaki illegal ek şerit oluşumu gelmektedir. Türkiye'deki birçok şehiriçi kavşakta mevcut olan ve geometrik disiplinsizliklerden dolayı görülen genel sorunları araştırabilmek amacıyla bu tez çalışması kapsamında pilot kent olarak Antalya seçilmiştir. Şehiriçi kavşaklarda geometrik disiplinsizlikten dolayı görülen sorunları göstermek amacıyla, şehiriçi ana arterler üzerinde yer alan bazı sorunlu kavşaklar ve kavşaklardaki bu sorunlara ait açıklayıcı görseller Şekil 1.1-1.8'de verilmiştir. Örneğin, Şekil 1.1 ve 1.2'de görseli verilen kavşaklarda benzer problemler mevcut olup her iki sinyalize kavşakta da illegal bir ek şerit oluşumu görülmektedir. Gerek kavşak geometrisindeki problemden gerekse sağa dönüş cebinin olmamasından dolayı şeritlerdeki kuyruklar belirli bir süre sonra geriye doğru uzayarak sağa dönmek isteyen taşıtların dönüş imkânını ortadan kaldırmaktadır. Bu olumsuz durum, sağa dönüş yapmak isteyen taşıtların kuyrukta gereksiz yere beklemesine neden olarak kuyruğun daha da uzamasına sebep olmaktadır. Ayrıca Şekil 1.3'te görülen kırmızı ışıktaki bekleyen ve üç şeritten oluşan taşıt kuyruğundaki taşıtlar, yeşil ışığın yanması ile birlikte kavşak içerisine girmekte ve aynı anda iki aracın geçişine olanak sağlayan kavşak içi geometriden dolayı hem kavşak içi karmaşa hem de geriye doğru şok dalgası oluşarak uzun kuyruklar meydana gelmektedir. Bu her iki durumda kavşak içi kazalara sebep olabilmektedir.



Şekil 1.1. Antalya il sağlık kavşağında gözlemlenen illegal ek şerit oluşumu ve bunun sonucunda sağa dönüşün kapanması.



Şekil 1.2. Antalyaspor kavşağında iki şeritli kolda üç şeritli kuyruk oluşumu.



Şekil 1.3. Markantalya kavşağında illegal ek şerit oluşumu ve bunun sonucunda kavşak içi karmaşanın oluşması.

Şekil 1.4 incelendiğinde ise iki şeritli olan kavşak kolunda bazen iki bazen ise illegal şerit oluşumu ile üç şeritten oluşan taşıt kuyruğu görülmektedir. Dünyanın hiçbir

yerinde bir kavşak kolu incelenirken bu koldaki şerit sayısı bazen iki bazen üç gibi bir yaklaşım söz konusu değildir. Kullanılan simülasyon programlarında kavşak kollarındaki şerit sayıları nettir ve analizler bu net duruma göre yapılmaktadır. Türkiye’de ise Şekil 1.4’te verilen örnekteki gibi hemen hemen birçok kavşakta farklı şerit sayılarını görmek mümkündür. İşin ilginç yanı, bu ilave şerit oluşumu bazı kavşaklarda sürekli olarak görülmekte, bazılarında ise bazen görülüp bazen görülmemektedir. Dolayısıyla bazı kavşaklarda ek şerit oluşumu kesinlikle var gibi kesin bir yargıya bile varılamayabilmektedir. Kavşaklardaki bu illegal şerit oluşumu ve belirsiz durumlar, kavşaklar için hem güvenlik hem de işletim açısından birçok soruna sebep olmaktadır. Örneğin Şekil 1.4’te görseli verilen kavşak kolunda, üç şeritli taşıt kuyruğu oluşması durumunda ışıktaki bekleyen taşıtlar yeşil ışıkla birlikte mecburi olarak sola dönmekte ve iki şeritten oluşan bir yola girmektedirler. Bu iki şeritli yoldaki şerit genişlikleri ancak aynı anda iki aracın yan yana ve düzenli hareket edebilmesine olanak sağladığı için yan yana hareket eden üç taşıt bu yolda iki şeride sığacak şekilde hareket etmek zorunda kalmaktadırlar. Bu karmaşa durumundan dolayı örülme bölgesinde şişboynu oluşmakta ve kavşakta düz giden ana akıma yeşil ışık yanması ile birlikte bu bölgede de karmaşa oluşmaya başlamaktadır (Bkz. Şekil 1.3).



Şekil 1.4. Markantalya kavşağında **a)** kimi zaman üç şeritli, **b)** kimi zaman iki şeritli kuyruk oluşumu.

Şekil 1.5’te görseli verilen bir diğer örnekte ise kavşaklardaki şerit genişlikleri, şerit sayısı ve dönüş cebinin yetersizliğinden dolayı düz gidişe ait olan bir şerit, sürekli olarak illegal bir sola dönüş cebi olarak kullanılmaktadır. Bu durum, düz giden taşıtlar için şerit sayısını azalttığından kuyruk uzunluğu ve gecikmeyi arttırarak kavşak performansını düşürmektedir.



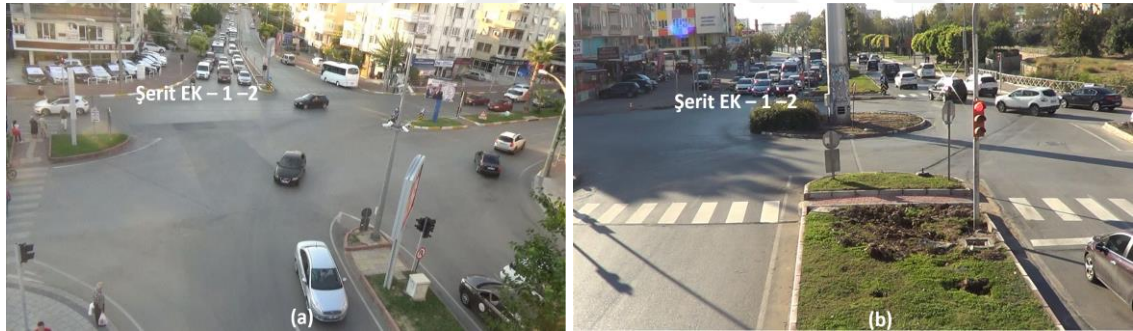
Şekil 1.5. **a)** Sinyalize bir kavşakta meydana gelen ek dönüş cebi oluşumu ve **b)** düz gidiş şeritlerin sayısında meydana gelen azalma.

Türkiye’deki kavşaklarda görülen bir diğer önemli sorun ise dönel kavşaklardaki şerit genişliklerinin ve sayısının fazla olması ile birlikte kavşak tasarımının hatalı olmasından kaynaklanan ek şerit oluşumu, ada içerisindeki karmaşa, kurallara itaatsizlik ve bunun sonucunda dönel kavşakta meydana gelen trafik kazalarıdır (Şekil 1.6).



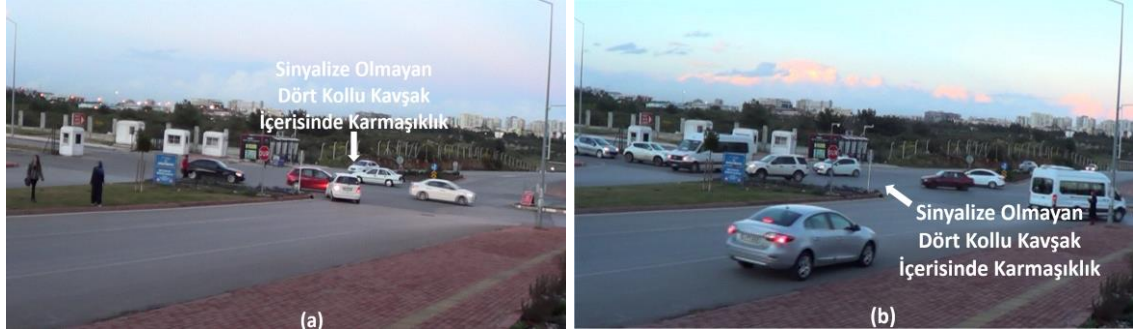
Şekil 1.6. a) Dönel kavşaklarda ada çevresindeki karmaşıklık ve **b)** karmaşa sonucu meydana gelen bir trafik kazası.

Şekil 1.7’de verilen görseldeki örnekte ise sinyalizasyon kavşak kollarında illegal ek şerit oluşumu ile birlikte üç şeritli bir taşıt kuyruğu oluştuğu görülmektedir. Yeşil ışıkla birlikte düz doğrultuda hareket edecek olan ve üç şeritten oluşan bu taşıt trafiği ne yazık ki kısa bir süre sonra iki şeride hatta yol kenarında parklanma var ise tek bir şeride sığabilme karmaşası ile karşı karşıya kalmaktadır. Dolayısıyla yukarıda belirtilen benzer sorunlar ile burada da karşılaşılabilir. Doğal olarak bu durum, kavşak içerisinde kaza oluşma riskini arttırabilmektedir.



Şekil 1.7. Sinyalizasyon kavşak kollarında ek şerit oluşumu.

Türkiye’de kavşak geometrisinin hatalı olması ve bunun yanı sıra sürücülerde kurallara itaatsizlik eğiliminin de fazla olması sebebiyle özellikle sinyalizasyon olmayan kavşaklarda Şekil 1.8’de verilen görsellerdeki gibi kavşak içi karmaşa sıkça gözlemlenmektedir. Özellikle kurallara uyma eğilimi olmayan sürücüler, sinyalizasyon olmayan kavşaklarda önce geçme isteğinden dolayı sıklıkla trafik kazası oluşumuna sebep olmaktadır.



Şekil 1.8. Sinyalize olmayan kavşaklardaki kavşak içi karmaşa.

Özetle, Türkiye’deki şehiriçi yollardaki kavşaklarda, yukarıda bazı örnekleri verilen kavşak geometri problemleri ve burada verilmeyen ama mevcut olan daha birçok farklı problem yaygın şekilde görülmektedir. Bu durum Türkiye’deki şehiriçi kavşak geometrilerinin detaylı olarak incelenerek, bu sorunların çözümüne katkı sağlayacak ve Türkiye’ye özgü olacak kavşak tasarımlarının geliştirilmesinin önemini ortaya çıkarmaktadır.

1.2. Problem Hakkında Genel Bir Değerlendirme

Bilindiği üzere batılı ülkelerde kullanımı çok fazla tercih edilmeyen taşıt türleri (üç tekerlekli taksi, moped vb.) Hindistan, Bangladeş, Çin vb. ülkelerde yaygın olarak kullanılmakta ve bu durum bu ülkelerin şehiriçi trafiğinde karmaşaya sebep olmaktadır. Bu ülkelerdeki yetkililer ve araştırmacılar, yol geometrilerindeki disiplinsizliğe engel olmak yerine kavşaklardaki mevcut durumu en iyi hangi modelin temsil edeceği konusunda yoğun çalışmalar yürütmektedirler. Bu durum, belirtilen ülkelerdeki insanların kurallara uyma konusunda çok istek ve arzulu olmadıklarını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Türkiye’de ise son yıllarda plansız şekilde artan nüfus ve taşıt sayısına bağlı olarak trafik kazalarındaki artış, yetkilileri mevcut şehiriçi yol ağlarının performansını artırma ve yeni yollar inşa ederek mevcut sorunları önleme konusunda yeni planlar hazırlayarak tedbirler almaya yöneltmektedir. Ne yazık ki Türkiye’deki yetkililer tarafından alınan önlemler geometrik sorunları ve karmaşayı çözmek yerine, yolların kapasitesini arttırmak için mevcut geometriyi daha da kötüleştirmektedir. Bu durum Şekil 1.1-1.8’de gösterilen sorunlar vb. birçok sorunun oluşumuna ve bunların çözümsüzlüğünün devam etmesine yol açmaktadır. Yetkililer tarafından alınan bazı önlemler kısa süreli olarak efektif çözüm sağlamış gibi görünse de belirli bir süre sonra beraberinde birçok soruna (trafik kazaları, kural ihlalleri, şerit kullanımında disiplinsizlik, başkalarının haklarına tecavüz etme, agresif davranma vb. olumsuz davranışlar) sebep olmaktadır. Türkiye’deki kavşaklar modifikasyon, tasarım ve inşa süreçlerinde Hindistan, Bangladeş vb. ülkelerdeki gibi günü kurtaran çözümlere değil, Batılı gelişmiş ülkelerdeki gibi bir standarda dayanarak yapılan kavşaklara ihtiyaç duymaktadır. Yüzünü muasır medeniyetler seviyesine çevirmiş bir Türkiye’nin şehiriçi kavşaklarda yapacağı bilimsel bir altyapıya sahip iyileştirmeler, hem şehiriçi yol ağlarına düzen getirecek hem de trafikte kurallara uymamaktan zevk alan toplum yapımızı kurallara uymaktan zevk alan bir topluma dönüştürecektir. Dolayısıyla bu konuda yapılacak her türlü bilimsel çalışma hem karmaşıklığı giderecek hem de batılı ülkelerde olduğu gibi sürücüleri kurallara uyma konusunda teşvik edecektir.

1.3. Tezin Amacı

Türkiye’de tasarım standartlarına tam riayet edilmeden inşa edilmiş kavşaklarda şerit genişliklerinde ve sayılarında süreksizlik, şerit sayılarında eksiklik ya da fazlalık, ayrılma ve katılım yollarında gereğinden fazla uzunluk ya da kısalık vb. birçok geometrik tasarım ve uygulama problemleri görülmektedir. Bu problemler sürücülerde şerit kullanımında disiplinsizlik, kırmızı ışıkta bekleyen kuyruğun olabildiğince önüne geçme eğilimi, kurallara itaatsizlik alışkanlığı, stres birikmesi ve agresif davranmaya sebep olmaktadır. Ayrıca bu geometrik yanlışlıklar nedeniyle kavşaklar gereğinden fazla şerit genişliği ve sayısına sahip olmakta ve bunun sonucunda gereğinden daha uzun yeşiller arası kayıp süreler, kavşak içerisinde hiç istenmeyen şişiboynu ve örülme bölgeleri oluşmaktadır. Bütün bunlar özellikle kavşak yaklaşım kollarında ve kavşak içerisinde birçok trafik karmaşasının oluşumunu etkin şekilde arttırmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışmanın ana amacı, yukarıda detaylı olarak belirtilen geometrik sorunların bulunduğu örnek bir şehiriçi yol ağındaki kavşakları tanısal bazlı olarak inceledikten sonra kavşaklardaki geometrileri optimize eden ve yeni geometriler öneren bir program geliştirmek; bu programda kullanılacak Türkiye’ye özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri önermek; önerilen yöntemlerin ve geometrilerin geçerliliğini bir mikro trafik simülasyonu programında test etmek (kuyruk uzunluğunun artması ve kavşak boşalım oranının azalması pahasına da olsa); oluşacak yeni ve düzenli durumun avantaj ve dezavantajlarını olabildiğince nicel ifade etmektir. Bu doğrultuda çalışmanın alt amaçları ise:

- i) Öncelikle problemi, pilot kent olarak seçilen Antalya içerisinde seçilen birbirinden bağımsız izole kavşaklardaki mevcut durumu (geometri problemleri, ek şerit oluşumu ,kavşak performansı vb.) inceleyerek ifade etmek,
- ii) Litaratürde mevcut olan bazı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemleri ile incelenen kavşaklar için gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yaparak, mevcut yöntemlerin Türkiye için kullanılamayacağını yapılacak hesaplamalarla ortaya koymak,
- iii) İncelenen kavşaklardaki geometri (şerit genişliği, şerit sayısı, yanal açıklık ve kol sayısı) ve kavşak performans (kuyruk uzunluğu ve gecikme.) parametreleri arasındaki en uygun ilişkiyi meta-sezgisel optimizasyon tekniklerinden olan Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemi kullanarak modelleyip, optimum geometriyi belirleyen bir program geliştirmek,
- iv) En uygun geometriyi belirleyen bu program yardımıyla elde edilen geometrinin, kavşaklara performans ve güvenlik açısından sağlayacağı pozitif ya da negatif etkileri ortaya koymak ve mevcut durum ile kıyaslayarak farklılıkları nicel olarak ifade etmek,
- v) Kavşak içi karmaşanın giderilmesi için ödenmesi gereken bedeli ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) ve ortalama gecikme (sn) olarak hesaplamaktır.

1.4. Tezin Kapsamı

Günümüzde mevcut şehiriçi kavşakların yapısı sürücülerini agresifleştirmekte ve bu durum sürücülerini trafikte yol kapatma, yol vermeme vb. gereksiz ve tehlikeli tartışmaların içerisine sürükleyerek toplum psikolojisi üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Özellikle mevcut sorunlu kavşakları kullanan sürücüler, karmaşıklık

karşısında heyecan, panik vb. ideal sürüş davranışını engelleyici psikolojik reaksiyonlar göstermekte ve bu durum sonucunda kaza yapmakta ya da kazaya sebep olabilmektedirler. Bu açıdan sürücülerin sakin ve rahat bir sürüş gerçekleştirerek ulaşımını sağlamalarının, trafikte toplum sağlığını olumlu yönde etkileyerek kazaların sayısında düşüşe neden olacağı öngörülmektedir. Bahsedilen bu durumdan ötürü batılı ülkelerdeki ulaşım planacıları ve yetkililer, şehiriçi yol ağlarının tasarımında güvenliği ön planda tutan ve maksimum performansı veren tasarım standartlarını kullanmaktadırlar. Bir sonraki bölümde detaylı olarak bahsedilen ve Türkiye'deki araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre, Türkiye'deki şehiriçi yol ağlarında yer alan kavşaklarda özellikle geometriden kaynaklanan birçok sorunun bulunduğu ve bu sorunların kavşak içi ve kavşak kollarında karmaşa ve kaza oluşumuna sebep olduğu belirlenmiştir. Fakat bu çalışmalara ait bulgular incelendiğinde yukarıda detaylı olarak bahsedilen problemleri göz önüne alarak geometri ve kavşak performansı arasındaki ilişkiyi tanısal bazlı olarak inceleyen ve sorunun çözümüne yönelik yeni bir yöntem geliştiren bilimsel bir çalışma ne yazık ki mevcut değildir. Ne ulaşım planacıları, ne yetkililer ne de araştırmacılar, kavşak geometrisinde iyileştirmeler yapılması durumunda sonucun ne olacağını, mevcut karmaşanın nicel olarak nasıl ifade edilebileceği sorusunun cevabını henüz bilememektedirler. Cevabı bilinmeyen bu soru, bundan önceki ulaşım planlamalarında dikkate alınmadığı gibi ne yazık ki günümüzde de önemsenmemektedir. Türkiye'deki şehiriçi yol ağlarının en önemli problemlerden birisi olan mevcut sorunların çözümü ne yazık ki teorik çalışmalarla yeterince öngörülememektedir. Fakat geometrik rehabilitasyonların uygulanması halinde kavşaklarda düzen ve güven ile ilgili olumlu sonuçların elde edileceği düşünülmektedir. Bu kavşakların standartlara uygun olarak bilimsel bir dayanak olmadan dönüştürülmesi, kavşaklarda beklenenin aksine öngörülemeyen birçok ilave işletim problemine sebep olabilmektedir. Fakat tez kapsamında yapılacak optimizasyon çalışmaları ile Türkiye'ye özgü en uygun kavşak geometrisi önerilmiş ve önerilen geometrilerin performansı, mikro trafik simülasyonu ile incelenerek geçerliliği test edilmiş ve kavşaklar için önerilen geometrilerin mikro simülasyon programında uygulanabilir olduğu görülmüştür. Çalışmanın en önemli çıktısı olarak kavşak tasarımında yetkililere yol göstermek amacıyla optimizasyon tabanlı analiz yöntemine sahip bir program geliştirilmiş ve tez kapsamında geliştirilen bu program bir ürün olarak ilgililerin (ulaşım planlamacıları, trafik mühendisleri, belediyeler, karar vericiler vb.) kullanımına sunulmuştur.

2. KAYNAK TARAMASI VE KAVRAMSAL BİLGİLER

2.1. Şehiriçi Kavşaklardaki Problemleri İnceleyen Önceki Çalışmalar

Kavşaklar literatürde motorlu ve motorlu olmayan taşıtlarla yayaların etkileşim içerisinde oldukları yerler olarak tanımlanmaktadır (Bao ve Boyle 2009; HCM 2010; Devin vd. 2011). Türkiye’de ve Antalya’daki şehiriçi yollarda standartlara uygun olarak tasarlanmadan inşa edilmiş birçok (sinyalize ve sinyalize olmayan dönel, dört kollu, T, Y vb.) kavşağı görmek mümkündür (Şekil 2.1). Bu kavşakların birçoğunda yanlış tasarımdan kaynaklanan güvenlik (karmaşa, kural ihlali, şerit disiplinsizliği, kazaya sebebiyet verme vb.) ve performans (kapasite kaybı, kuyruk oluşumu, gecikme vb.) sorunları gözlemlenmektedir. Ulusal ve uluslararası araştırmalardan pek çok ülkede kavşakların tasarım ve inşa aşamasında standartlara uyulmamasından dolayı sürücülerin algı ve davranışlarının güçleştiği gözlemlenmiştir (Arıkan Öztürk vd. 2007; Günay vd. 2014; Aydemir 2006; Vrieling vd. 2014; Wood vd. 2015; Elvik 2003; Flannery 2001; Persaud vd. 2001; Gross vd. 2013). Kavşakların tasarım ve işletmesinde belirli bir standardın olmaması düzensizliğe ve kavşak içerisinde bir kaosa yol açarak sürücüler üzerinde stres, agresiflik vb. olumsuz davranışlara ve dolayısıyla da kazalara neden olmaktadır (Devin vd. 2011; Bao ve Boyle 2009; Keay vd. 2009; Takemoto vd. 2008; Braitman vd. 2007). Bu yüzden kavşaklarda güvenliği sağlayarak kazaları önlemek trafik mühendislerinin en önemli görevlerinden birisidir. Avrupa Birliği ülkeleri, ABD, Avustralya vb. gelişmiş (batılı) ülkelerde kavşaklar, hazırlanmış olan standartlara uygun olarak inşa edildiği için yukarıda detaylı olarak bahsedilen sorunlarla ve Türkiye’deki kadar trafik kazalarıyla çok fazla karşılaşmamaktadırlar.



Şekil 2.1. Antalya’da geometrisi standartlara uygun olarak tasarlanmayan örnek iki kavşak (Google Maps 2017).

Türkiye’de 2016 yılında meydana gelen trafik kazaları incelendiğinde, meydana gelen kazaların yaklaşık olarak %24’ünün şehiriçi kavşaklarda olduğu görülmektedir (TÜİK, 2016). Bu sonuç, Türkiye’deki kavşakların geometrik disiplinsizliğe sahip olması ve sürücülerin bilgisizliği ve kurallara itaat etmeme eğiliminin ne kadar çok sayıda kazaya sebebiyet verdiğini ve bunun da daha çok kent merkezlerinde olduğunu göstermektedir. Türkiye’de yukarıda belirtilen kavşak tasarım sorunlarını ve sürücü davranışlarını inceleyen, bu sorunlara dikkat çeken az sayıda da olsa bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Saplıoğlu ve Karasahin (2010) şehiriçi sinyalize olmayan kavşak kazalarının oluşmasına sebep olan unsurlara dikkat çekmek için (insan unsuru ve taşıt unsuru hariç) yol ve çevre unsurlarının özellikle kavşak geometrik özellikleri ile kazalar üzerindeki etkilerinin tümünü ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Elde edilen çalışma

sonuçlarından Türkiye’de şehiriçi sinyalizasyon olmayan kavşak geometrisi ve güvenliği ile ilgili az sayıda çalışmanın mevcut olduğu ve bunun en önemli sebebinin, kavşak geometrilerinin ayrıntılı olarak kaza tutanaklarında yer almaması ve kavşaklarda gerekli tasarım esaslarının uygulanmamasının olduğu açıklamışlardır. Benzer bir amaç taşıyan bir başka çalışmada ise Yüksel (2007), şehiriçi yollarda tasarımı hatalı, belirli bir standarda uymayan ve sürücülerin algılamasını güçleştiren kavşakların bulunduğu dikkat çekerek, bunun yerine gelişmiş ülkelerde aktif olarak kullanılan ve birçok artısı bulunan modern dönel kavşakların kullanılmasını önermiştir. Yüksel (2007) ayrıca sinyalizasyon ve kontrolsüz kavşakların modern dönel kavşaklara dönüştürülmesi ile kavşaklara giriş hızlarının düşeceğini, sürücülerin hız yapması veya kırmızı ışıkta aniden durmalarının engellenerek, muhtemel çarpışmaların şiddetinin azaltılabileceğini belirtmiştir. Bir başka çalışmada Aydemir (2006) ise yanlış sinyalizasyon dönel kavşak tasarımı ile durma noktalarının arttığını ve bunun sonucunda gecikme süreleri, kazaların sayısı, sıkışıklık ve sürücü hatalarının sayısında belirgin bir artış görüldüğünü ifade etmiştir. Aydemir (2006) çalışmasında ayrıca kanunla belirlenmiş olan kavşaklardaki geçiş üstünlüğü kuralının Türk sürücüler tarafından bilinmediğini ve hem tasarım hem de bilgi eksikliğinin kavşakların en büyük problemi olduğunu açıklamıştır. Aydemir (2006) çalışma sonuçlarından elde ettiği sonuçlara göre ayrıca kavşaklarda ana akım içerisindeki sürücülerin, yan yol akımındaki sürücülere yol vermelerine sık rastlanıldığına değinmiş ve Türk sürücülerinin kavşak kullanımı konusunda bilinçsiz olduklarını belirterek kanunların sürücüler tarafından ne yazık ki uygulanmadığına dikkat çekmiştir. Aydar (2011) ise karayolundaki kavşakların tipine karar verme sürecinde kapasite, güvenlik ve maliyet (K-G-M) parametrelerini optimize eden bir model geliştirmiştir. Bu model ile kent dışı kavşaklar incelenerek bu kavşak türlerinin eksiklikleri, yetersizlikleri ve aksaklıkları önemle dikkate alınmış; bu kavşaklarda hangi yollar izlenerek incelenen kavşaklardaki sorunların nasıl çözüleceğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, Türkiye’de mevcut eşdüzey kavşak uygulamalarından farklı düzey kavşak uygulamalarına hemen geçilmesinin ve bu geçişin belli insanların arzu ve isteğine bırakılmasının çok olumsuz sonuçlara neden olacağına dikkat çekmiştir. Bir başka çalışmada ise Tuncuk ve Karaşahin (2005), sinyalizasyon olmayan eşdüzey kavşakların güvenliğini araştırmış ve dönel kavşakların anayoldaki hareketlilik, aynı yönde duran ve yavaş hareket eden taşıtlarla devam edenler arasında hız farkının çok olması nedeniyle sinyalizasyonlu kavşaklardan daha tehlikeli olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu nedenle Türkiye’de şehiriçi hemzemin kavşakların iyileştirilmesinde emniyet, ekonomi, kapasite ve çevreye uygunluğun sırasıyla göz önünde bulundurulması gerekliliğine değinmişlerdir.

Alçelik (2010) çalışmasında, dönel kavşak tasarımı ve uygulamasındaki farklılıkların tam olarak ayırt edilmesinin gerekliliğine değinerek, kavşak tasarımındaki önemli hususların Türkiye için eksikliğine dikkat çekerek kavşak tasarımının sadece kapasiteye göre yapılmasının büyük bir hata olacağını belirtmiştir. Kaygısız ve Şenbil (2011) ise dönel kavşak yapılması durumunda bile imar planlarındaki kavşak geometrilerine riayet edilmediğini ve sonuç olarak dönel kavşak kazalarının kaza istatistiklerinde önemli bir yüzdeye sahip olmasının normal olduğunu belirtmişlerdir. Çavuş ve Karaşahin (2013) ise kavşaklarda kuyruk oluşması durumunda sürücülerin kavşağa girmek için uygun boşluk aradığını ve yanlış geometriden dolayı bu boşluğu da bularak gösterdikleri saldırgan davranışların kazalara neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bir başka çalışmada ise Tanyel ve Varlıorpak (1998), modern (yeni tip)

dönel kavşakların bütün dünyada, güvenilirlik ve yüksek kapasite sağlamaları sebebiyle tercih edildiğini belirtmişler ve Türkiye’de özellikle kaza oranlarının azaltılması açısından dönel kavşaklar üzerine yapılan araştırmaların sayısının artırılmasının gerekliliğine ve önemine vurgu yapmışlardır. Bir diğer çalışmada Çakıcı ve Murat (2016), son yıllarda Türkiye’de yaygın olarak kullanılan fakat geometri ve sinyalizasyon tasarım kriterleri henüz netleşmemiş olan sinyalize dönel kavşaklarda yaklaşım kolları ve ada etrafındaki akımlar için optimum sinyal süresi ve faz planı tasarımı yapan yeni bir yöntem önererek bu tür kavşaklarda görülen sinyal tasarım problemlerine dikkat çekmişlerdir. Çalışma kapsamında önerilen optimum sinyal süresi ve faz planı tasarımları ile sinyalize dönel kavşakların işletim performansları artırılarak, bu tür kavşaklarda gözlemlenen geometri problemlerinin negatif etkisi azaltılmaya çalışılmıştır.

Türkiye için incelenen kavşaklardaki sorunlara benzer sorunlar birçok gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkede de görülmektedir. Türkiye’de bu konuya ilişkin yapılan çalışmalara benzer şekilde uluslararası çalışmalar mevcuttur. Örneğin Al-Ghamdi (2003) çalışmasında Riyad/Suudi Arabistan’daki şehiriçi sinyalize kavşaklarda meydana gelen kazaların sebebini araştırmıştır. Analiz sonuçlarından sürücülerin kırmızı ışıktaki geçmesi ve dur kontrollü kavşaklarda taşıtların durmadan yola girmelerini, kazaların başlıca sebebi olarak elde etmiştir. Analiz sonuçlarından ayrıca kavşaklardaki kazaların önlenmesi için yol geometrisinin üzerinde gerekli olan trafik kontrol cihazlarının yerleştirilmesiyle birlikte yeniden düzenlenmesi gerektiği belirtilmiş ve bu durumun önemine dikkat çekilmiştir. Bir başka çalışmada Lord vd. (2007), kavşakların geometrik tasarımlarının sadece genç ve orta yaş sürücü karakteristiklerine göre değil, yaşlı sürücüler de değerlendirmeye alarak onlarında kavşaklarda güvenle taşıt kullanabilmelerine olanak sağlayacak şekilde inşa edilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir. Çünkü ABD’de 1995 yılında 33,5 milyon olan yaşlı sayısının 2020’de 50 milyon olacağı ve bu sayısının beşte birinin de sürücü popülasyonu içerisinde yer alacağı hesaplanmıştır. Yaşlı sürücülere ait kaza istatistikleri incelendiğinde kazaların %48 ila %55’inin kavşaklarda meydana geldiği saptanmıştır (Staplin vd. 2001). Yapılan birçok araştırmada Amerika’da 1950’li yıllardan itibaren uygulanmaya başlayan modern dönel kavşakların kavşak güvenliğini artırmasının yaşlı sürücüler için de güvenli uygulamalar olduğuna dikkat çekilmiştir (Elvik 2003; Flannery 2001; Persaud vd. 2001). Gross vd. (2013) ise çalışmasında sinyalize kavşakların modern dönel kavşaklara dönüştürülmesinin kavşak güvenliği üzerine etkisini incelemiş ve yapılan incelemelerden kavşak içerisindeki çatışma sayısının dört kollu sinyalize bir kavşakta 32 iken bu sayının modern dönel kavşakta 8 olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada modern dönel kavşakların kavşak giriş genişliği ve açısının, taşıt hızlarını zorunlu olarak azaltması vb. faydalarına değinilerek güvenliğe özellikle dikkat çekilmiştir. Sinyalize kavşaklardaki durum incelendiğinde ise Devin vd. (2011)’in yaptıkları araştırma sonuçlarına göre kavşaklarda meydana gelen kazaların birçoğunun sinyal kontrollü kavşaklarda ve kırsal kesimlerde meydana geldiğini belirlenmiştir. Bu tip kavşaklarda meydana gelen kazalarda ana sorun olarak durma (Bao ve Boyle 2009; Keay vd. 2009) ve kavşakta yol verme problemleri belirlenmiştir (Takemoto vd. 2008). Yapılan çalışmalar meydana gelen çarpışma tiplerinin sürücü hatalarının türü ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Wang ve Abdel-Aty (2007) ise çalışmasında, sinyalize kavşaklarda meydana gelen açılı çarpışmaların sürücünün kırmızı ışıktaki duramaması ve kırmızı ışıktaki dönmeye çalışmasından kaynaklı olduğunu

belirlemişlerdir. Bao ve Boyle (2009), Keay vd. (2009), Takemoto vd. (2008) ve Wang ve Abdel-Aty (2007) ise bu kazaların temel nedeninin sürücülerin görüş kabiliyetinin zayıf olması ya da yol hakkı kurallarına riayet etmemesinden kaynaklandığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar kavşaklarda sıkça meydana gelen arka-ön çarpışmaların sürücülerin dikkatsizliğinden kaynaklandığına dikkat çekmişlerdir.

Türkiye’de kavşakların performansını arttırmak için uygulanan şerit sayısının artırılması ya da standartlara uygun olmayan kavşak geometri düzenlemelerinin aksine batılı ülkelerdeki çalışmalarda, kavşaklarda geometri problemi olmadığından bir koridor boyunca sinyalizasyon kavşakların sinyalizasyon sistemini en efektif hale getirecek çalışmalar yapılarak kavşak performansını artırma yoluna gidilmektedir (Wong 1996; Wong ve Yang 1997; Wong vd. 2006). Yapılan mevcut araştırmalar göstermektedir ki batılı ülkelerde standartlara uygun olarak inşa edilen kavşak geometrilerinde pek fazla sorun olmaması, araştırmacıları daha iyi bir sinyalizasyon tasarımı yaparak bisikletliler, yayalar ve taşıtların hareketlerini düzenlemeye ve çatışma noktalarını azaltarak trafik kapasitesini maksimize etmeye itmiştir. Bu amaçla batılı ülkelerdeki araştırmalar, kavşak geometrisini değiştirmek yerine daha çok kavşakların işletimsel ve güvenlik performansını incelemek ve optimize etmek üzerine odaklanmıştır. Fakat Türkiye için bu tür bir araştırma potansiyeli henüz mümkün değildir. Çünkü kavşak geometrisini düzeltmeden sinyalizasyon sisteminde yapılacak her türlü düzenleme o kavşağın mevcut kapasitesini artırarak sadece günü kurtarmaya yarayacaktır. Güvenlik, şerit kullanımını düzenleme, stresi azaltma vb. diğer sorunları çözmeye katkı sağlamayarak mevcut sorunların görülmesini devam ettirecektir.

2.2. Optimizasyon Teknikleri ve Trafik Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı

Optimizasyon, herhangi bir sistemde var olan kaynakların en verimli şekilde kullanılması olarak tanımlanabilmektedir (Gass ve Assad 2004). Matematiksel olarak ifade edilirse seçilen bir problemin çözümüne yönelik yapılan minimizasyon ve maksimizasyon analizleridir (Kahaner vd. 1989). Optimizasyon analizleri günümüzde birçok bilimsel çalışma ve uygulamanın temelini oluşturmaktadır. Optimizasyon yöntemlerinin temeli iki önemli bileşenden oluşmaktadır (Türkay 2011). Bunlar, modelleme ve çözümleme analizleridir. Modelleme analizlerinde kullanılan optimizasyon tekniklerinin temel amacı gerçekte karşılaşılan bir problemin matematiksel olarak ifade edilmesidir. Çözümleme ise geliştirilen bir modeli sağlayan en iyi çözümün belirlenmesidir. Optimizasyon uygulamaları üzerine ilk çalışmalar ekonomi modellemeleri üzerine yapılmıştır (Leontief 1933). İlerleyen süreçte optimizasyon teknikleri birçok alanda (performans artırımı, maliyet azaltılması, kar maksimizasyonu, kapasite kullanımının artırılması, ulaşım sektöründe verimliliğinin artırılması vb.) aktif şekilde kullanılmıştır.

Optimizasyon tekniklerinin özellikle ulaştırma problemlerinde kullanımı kısa içerisinde yaygınlaşmış ve bu konuda birçok araştırma yapılmıştır. Bu alandaki ilk araştırma Kantorovich ve Gavurin (1949) tarafından ulaşım sektöründe efektif kapasite kullanımı ile verimliliği artırma üzerine model geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma sonrasında optimizasyon yöntemlerinin ulaştırma alanında kullanımı giderek yaygınlaşmış ve kısa süre içerisinde birçok farklı konuda çalışmalar yapılmıştır (Kantorovich ve Gavurin 1949; Koopmans 1957; Koopmans ve Bausch 1959). Günümüzde ulaştırma alanında yapılan optimizasyon çalışmaları incelendiğinde de

birçok farklı konuda yapılmış çalışmalara erişmek mümkündür. Fakat mevcut literatür detaylı olarak incelendiğinde, optimizasyon tekniklerinin en çok kavşaklardaki optimum sinyal sürelerinin belirlenmesi ve yol ağlarının performanslarının artırılması konuları üzerinde yoğunlaştığı kanısına varılabilmektedir. Örneğin, Hirulkar vd. (2010) çalışmasında bir sinyalize kavşaktaki süreleri, gecikmeyi minimize edecek şekilde tasarlayacak yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu işlemi gerçekleştirmek amacıyla en çok kullanılan optimizasyon tekniklerinden birisi olan Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlardan, sabit trafik akım talebi altında optimizasyon sonucu elde edilen yeni sinyal sürelerinin gecikmeyi oldukça azalttığı görülmüştür. Bir diğer çalışmada Park vd. (1999), kavşaklarda doaygunüstü akım için Genetik Algoritma optimizasyon yöntemini kullanarak sinyal süresi hesabı yapmışlardır. Yapılan optimizasyon analizi sonucunda önerilen sinyal sürelerinin kavşak kollarındaki kuyruk uzunluğu ve gecikme değerlerini azaltmada oldukça efektif sonuçlar verdiği görülmüştür. Li vd. (2016) ise bir kentsel yol ağındaki sinyal sürelerini optimize ederek ağ performansını arttırmayı amaçlamıştır. Bu amaçla çalışmada, Eş Zamanlı Karmaşık Stokastik Yaklaşım algoritması kullanılmıştır. Yapılan simülasyon analizlerinden en uygun sinyal sürelerinin, sinyal süreleri ve ağ topolojisinin birlikte değerlendirilmesi ile mümkün olabileceği ve bu şekilde yapılan analizlerin trafik sıklığı ve taşıt hızlarını iyileştirmede etkin bir çözüm olacağı belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada Zhang vd. (2012), otoyollar ve bağlantı yollarındaki trafiği dinamik olarak yönetebilmek amacıyla bir entegre koridor kontrol sistemi önermiştir. Önerilen bu sistemin amacı otoyol ve buna bağlanan kollardaki trafiği ve sinyal sürelerini düzenleyerek tüm ağı dinamik olarak yönetmek ve mevcut kuyruk uzunluklarını ve gecikmeleri azaltmak olarak belirlenmiştir. Bu amaçla optimizasyon bazlı entegre koridor trafik optimizasyon modeli önerilmiştir. Önerilen bu optimizasyon modelinde kullanılmak üzere Genetik Algoritma, Model Arama Algoritması ve Ardışık İkinci Dereceden Programlama Algoritmaları incelenmiş ve içlerinden en efektif olan İkinci Dereceden Programlama Algoritması seçilmiştir. Bu algoritmaya göre elde edilen sonuçlardan, önerilen yeni optimizasyon modelin koridordaki gecikmeleri yüksek, orta ve düşük trafik akım koşullarında sırasıyla %8,77, %9,92 ve %13,16 azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Optimum sinyal süresi tasarımı ve ağ performanslarının artırılması konularının yanı sıra optimizasyon uygulamaları ulaştırma alanında birçok alanda etkin şekilde kullanılmaktadır. Örneğin Yao vd. (2017), bir yol ağındaki şerit değiştirmeleri kontrol ederek trafik akımının verimliliğini arttırmak amacıyla sezgisel yöntemlerden Genetik Algoritma optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen optimizasyon sonuçlarından taşıtların şerit değiştirmelerini, önündeki ve arkasındaki taşıtla büyük boşluklar bırakarak yapmasının taşıtların grupça hareketini kolaylaştırdığını ve akımın verimini arttığını tespit etmişlerdir. Farklı bir çalışmada Wang ve Deng (2015), iki yönlü şeritlerin bulunduğu sinyalize yol ağındaki ağ kapasitesi problemini araştırmışlardır. İki yönlü şeritlerin farklı zaman dilimlerinde farklı yönlerin kullanımı için ayrılmasının kapasiteyi nasıl etkilediğini Genetik Algoritma optimizasyon yöntemi kullanılarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlardan optimizasyon analizi sonucu yapılan yön düzenlemelerinin kavşak kollarındaki kapasiteyi arttırdığı gözlemlenmiştir. Bir diğer çalışmada Sun vd. (2012), trafik sayım istasyonlarının yol ağları üzerindeki konumlarını belirlemek amacıyla Karınca Kolonisi optimizasyon yöntemini kullanmışlardır ve optimizasyon sonuçlarından kullanılan yöntemin istasyonlar arası en

uygun mesafeyi önerdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca analizlerden istasyonlar arası en uygun mesafe tasarımının, yapılacak iyileştirmeleri belirlemede hayati bir öneme sahip olduğu ve ağ performansını artırma ve yapılması gereken düzenlemeleri doğru şekilde belirleme açısından kritik bir öneme sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Farklı bir optimizasyon çalışmasında ise Hasany ve Shafahi (2016), en uygun demiryolu güzergâhının belirlenmesi üzerine çalışmış ve en uygun güzergâhın belirlenmesi amacıyla Karınca Kolonisi optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Optimizasyonda incelenen her bir güzergâhın maliyetini kolaylıkla belirleyebilmek amacıyla güzergâhlara ait tüm veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) içerisine girilmiş ve bu veriler kullanılarak hacim, uzunluk ve konum bağımlı incelemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, konum bağımlı güzergâh önerilerinde demiryolu güzergâhının şehre yakın olması durumunda istasyon ve şehir merkezi arasındaki taşıma maliyetleri düşeceğinden daha efektif güzergâhlar olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bir başka çalışmada ise Gökkuş vd. (2017), optimizasyon yöntemlerinin aktif olarak kullanıldığı konteynır trafiğinin tahmini üzerine çalışma yapmışlardır. Bu amaçla dört farklı optimizasyon yöntemini (Yapay Arı Kolonisi içeren Yapay Sinir Ağları, Levenberg - Maquardt içeren Yapay Sinir Ağları, En Küçük Kareli Destek Vektör Makina ve Genetik Algoritmali Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon) kullanarak konteynır trafiği tahmini yapmışlardır. Yapılan analizlerden konteynır tahmininde en kötü tahmini Genetik Algoritma içeren Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon yönteminin yaptığını, en iyi tahmini (en düşük hataya sahip olan) ise En Küçük Kare içeren Destek Vektör Makine yönteminin yaptığı sonucuna ulaşılmış ve ona göre tahminlerde bulunulmuştur. Murat ve Kikuchi (2007) ise bulanık optimizasyon yaklaşımı ile ulaştırma alanında en fazla araştırma yapılan konulardan birisi olan sinyal sürelerinin tasarımı üzerine araştırma yapmışlardır. Araştırma kapsamında seçilen bu optimizasyon yönteminin literatürde mevcut olan ve aktif olarak kullanılan üç farklı (HCM 2000, Webster ve Akçelik) sinyal süresi tasarım yönteminden daha efektif tasarımlar yaptığı sonucuna ulaşarak yöntemin efektifliğini ortaya koymuşlardır.

Yukarıda bahsedilen araştırmalardan da görüldüğü üzere yapılan birçok bilimsel araştırmada farklı birçok optimizasyon yöntemleri etkin şekilde kullanılmaktadır. Özellikle sürü zekası kullanılarak geliştirilen meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları karmaşık optimizasyon problemlerin çözümünde başlıca kullanılan çözüm yöntemleri olarak ön plana çıkmıştır (Saka ve Doğan 2012). Bu tez çalışması kapsamında da bilimsel araştırmalar sonucunda geliştirilen ve sürü zekasını kullanarak birçok problemin optimizasyonunda kullanılan meta-sezgisel optimizasyon tekniklerinden birisi olan Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle ait temel özellikler ve işlem adımları materyal ve metot bölümünde detaylı olarak verilmektedir.

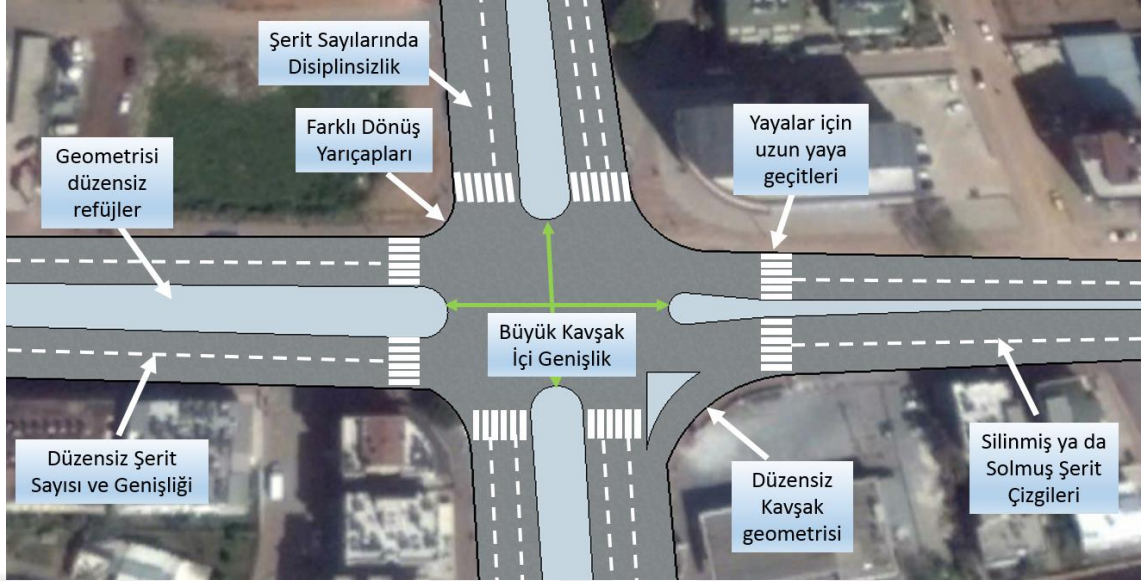
2.3. Kavşaklar Hakkında Temel Bilgiler

Kavşaklar farklı doğrultulardan gelen trafik akımlarının standartlarda belirlenmiş kurallara göre sırayla hareket ettikleri ve ortak kullandıkları yol kesimleri olarak tanımlanmaktadır (Eraslan 2008). Kavşaklar şehiriçi ve şehirlerarası yollardaki kesişim noktalarında, taşıtların hareketlerini kontrol ederek güvenli geçişi sağlayan çok önemli bir unsurdur. Özellikle şehiriçi ulaşım sistemlerinin önemli bir parçasıdır ve şehiriçi yolların kesişim noktalarında taşıtların hareketini düzenleyerek hem taşıtların hem de yayaların güvenli hareket etmesini sağlamaktadır. Uygulamada kavşaklar, genellikle üç

veya dört kollu olup, kavşak içi karmaşanın daha da artması ve dolayısıyla güvenliğin azalması sebebiyle dörtten fazla kollu olması arzu edilmemektedir. Kavşaklar, trafik akımının farklı doğrultulardan gelen taşıtların kontrollü ve güvenli şekilde istediği yöne gitmesini sağlamakta ve bu sebeple de trafik akımının kesintiye uğradığı yerlerin başında gelmektedir. Bu yüzden iyi bir kavşak tasarımı hem güvenliği sağlayarak kazaları engelleyebilmekte hem de kavşak performansını artırarak taşıtların daha az beklemesini ve istediği doğrultuda hareket etmesini sağlayarak gecikme ve kayıp süreleri azaltmaktadır. Bir kavşakta güvenli hareket eden taşıtların sayısı ve bunların gecikme süreleri, kavşak kollarındaki ve içerisindeki platformların çeşitli fiziki ve işletme özelliklerine, sürücü karakteristiklerine, çevresel faktörlere, trafik akımının karakteristiklerine ve trafik kontrol taşıtlarına bağlıdır (Eraslan 2008). İyi bir kavşak tasarımındaki en önemli amaçlar aşağıda verilen şekilde özetlenebilmektedir (Eraslan 2008; Sonuç 1975):

- i) Farklı ya da aynı doğrultudan gelen taşıtların güvenli şekilde hareket etmesini sağlayarak trafik kazalarını önlemek,
- ii) Kavşağı kullanan ve farklı doğrultulardan gelen taşıtların birbirinin hareketlerini engellemesinin önüne geçerek gereksiz fren yapma ya da hızlanmadan doğacak yakıt ve zaman kaybını azaltmak,
- iii) Kavşağı kullanan taşıtların güvenli geçişi için yeterli geçiş sürelerini sağlamak,
- iv) Hem estetik hem de işletim açısından en uygun geometriyi tasarlayarak hem yayalar hem de taşıtlar için kullanışlı kavşaklar tasarlamaktır.

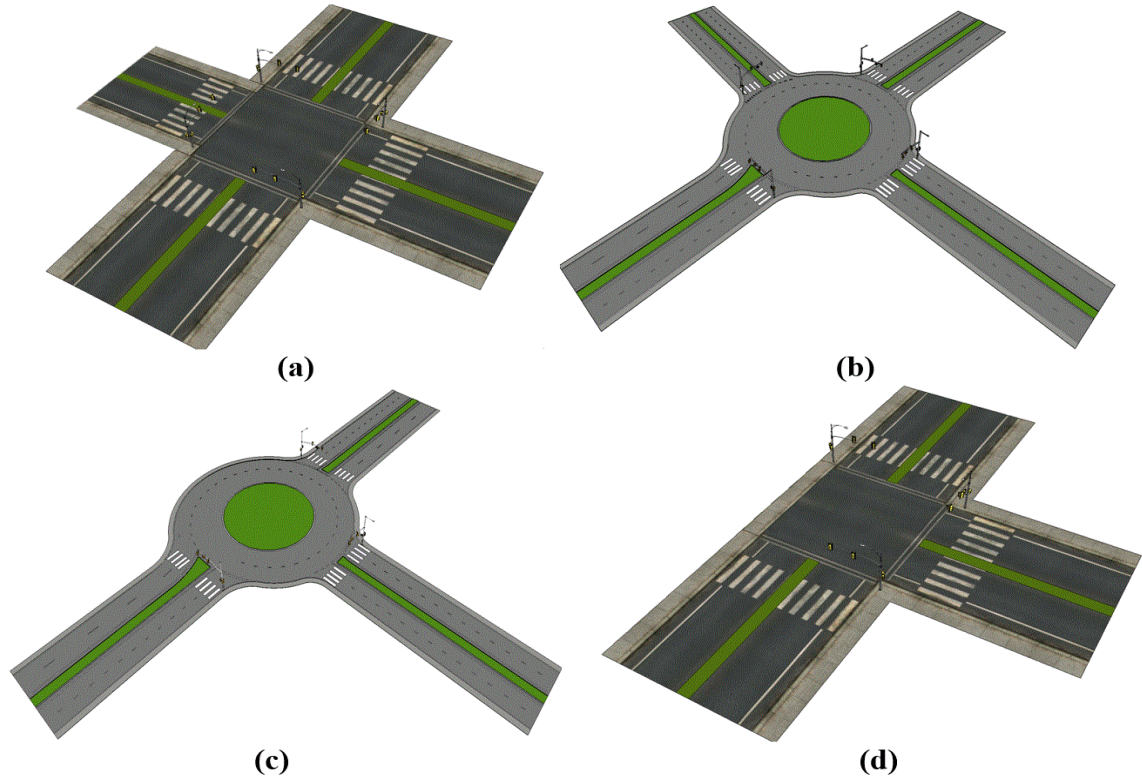
Uygulamada kavşaklar genel olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadırlar. Bunlar “Eşdüzey (hemzemin)” ve “Farklı düzeyli (seviyeli)” kavşaklardır (Tunç 2003). Teoride eşdüzey (hemzemin) kavşaklar trafik yoğunluğu az, farklı düzeyli kavşaklar ise trafik yoğunluğu fazla olan veya tam erişme kontrollü yollarda uygulanmaktadır. Fakat Türkiye’de maliyetinin ucuz olması ve şehiriçi yollarda planlama hatasından kaynaklı yeterli geometrik özelliklerin bulunmaması sebebiyle trafik akım değeri yüksek olan yollarda da eşdüzey kavşaklar inşaa edilmektedir. Türkiye’de inşaa edilen mevcut eşdüzey kavşaklarda tasarım standartlarına uyulmadığı için Şekil 2.2’de detaylı olarak gösterilen tasarım hatalarına benzer hatalar görülebilmekte ve bunun sonucunda kavşaklarda tıkanıklık ve karmaşa problemleri gözlemlenebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, önceki bölümlerde de belirtilen problemleri detaylı olarak incelemek ve tezin nihai hedefine ulaşabilmesini sağlamak amacıyla sadece şehiriçi yollardaki eşdüzey kavşaklar incelendiği için, bu bölümde sadece eşdüzey kavşaklar hakkında gerekli temel bilgiler verilmiştir.



Şekil 2.2. Şehir içi eşdüzey kavşaklarda görülen bazı tasarım hatalarının gösterildiği bir kavşak.

2.3.1. Eşdüzey (Hemzemin) kavşaklar

Farklı doğruludaki trafik akımlarının hareket etme sırasının kurallara göre belirlendiği ve bu trafik akımlarının ortaklaşa kullandığı yol alanları “eşdüzey kavşaklar” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Sırasıyla dört kollu ve üç kollü eşdüzey kavşaklara ait örnek görseller.

Trafik kaza istatistiklerine göre yollarda meydana gelen trafik kazalarının yaklaşık olarak %40'ı şehiriçi eşdüzey kavşakların olduğu yol kesimlerinde meydana gelmektedir (TÜİK 2016). Yine yapılan araştırmalardan özellikle şehiriçi ulaşımında meydana gelen taşıt gecikmelerinin %70'den fazlasının eşdüzey kavşaklardaki dur-kalk ve duraklama hareketlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu yüksek kaza oranı ve gecikme değerleri, şehiriçi yollarda eşdüzey kavşakların hem güvenlik hem de işletme açısından iyi tasarlanması gerektiğini ön plana çıkarmaktadır (Umar ve Yayla 1992). Eşdüzey kavşaklar kullanım alanı, tasarım şekli ve kanalize olup olmama durumlarına göre farklı türlere ayrılmaktadır. Bu kavşaklar tasarım, uygulama ve kontrolde birçok farklı parametreyi bünyesinde barındırdığı için aşağıda verilen şekilde birçok farklı sınıflandırmaya sahiptir. Eşdüzey kavşaklar, kol sayısına göre (Alçelik 2010):

- i) Üç kollu kavşaklar (T veya Y kavşaklar),
- ii) Dört kollu kavşaklar,
- iii) Çok kollu kavşaklardır.

Kavşakta kullanılan trafik kontrol sistemlerine (denetim özelliği) göre:

- i) Sinyalize kontrollü (denetimli) kavşaklar,
- ii) Sinyalize olmayan (denetimsiz) kavşaklar,
- iii) Yuvarlak ada (dönel) kavşaklardır.

Uygulandığı yol kesiminde kapasiteyi arttırmak amacıyla çeşitli trafik işaretlemeleri kullanılarak veya adalar yardımıyla taşıtların yönlendirilmesi (kanalize etme) durumuna göre ise:

- i) Kanalize edilmiş kavşaklar,
- ii) Kanalize edilmemiş kavşaklar olarak sınıflandırılmaktadır.

2.3.1.1.Eşdüzey kavşakların temel tasarım özellikleri ve tasarımda dikkat edilmesi gereken parametreler

Eşdüzey kavşakların tasarımında dikkat edilmesi gereken birçok farklı önemli parametre bulunmaktadır. Bunlar özetle dört ana başlık altında (kazalara karşı güvenlik, yüksek performans, ekonomiklik ve çevreye uygunluk) özetlenebilmektedir (Akmaz 2012; İnançlı 2012). Bu dört ana başlık daha detaylı incelendiğinde kavşakların tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken parametreler aşağıda verilen şekilde listelenebilir:

- i) Tasarlanacak kavşağın bulunduğu yol ağı içerisindeki önem derecesi,
- ii) Yol ağının mevcut trafik akım karakteristikleri,
- iii) Kavşağa bağlanacak kollardaki yolların geometrik özellikleri,
- iv) Tasarlanması ve inşaa edilmesi düşünülen kavşaktan önce ve sonra yer alan diğer kavşaklardaki mevcut denetim şekilleri (sinyalize, sinyalize olmayan vb.),
- v) Seçilen yol ağını kullanan sürücü ve yayaların karakteristik özellikleri,
- vi) İncelenen yol ağının ve kavşağın inşaa edileceği yol kesiminin topoğrafik (eğim, vb.) ve geometrik özellikleri.

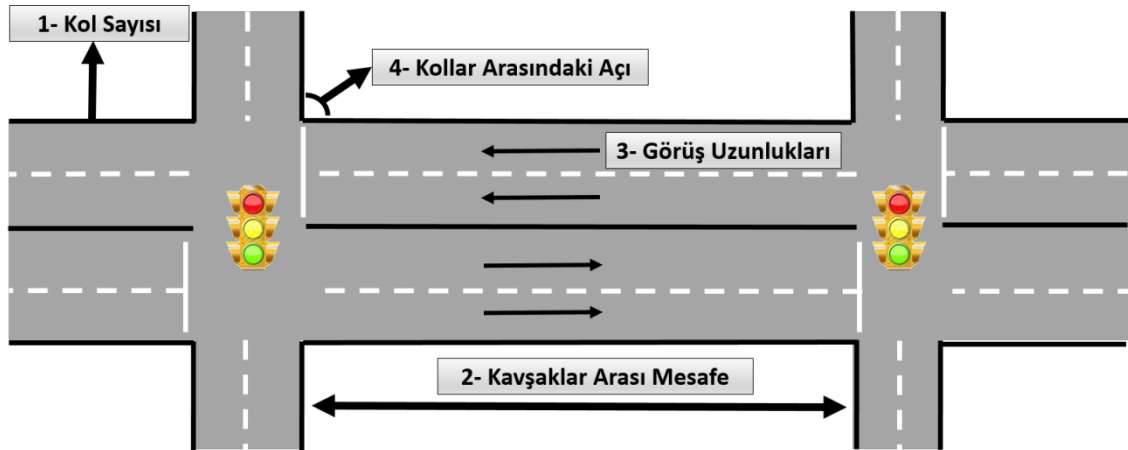
Eşdüzey kavşakların tasarımında etkili olan ve yukarıda belirtilen parametrelerden en çok dikkat edilmesi gereken seçilen yol ağının mevcut trafik akım

karakteristikleridir. Çünkü tasarım aşamasında kavşağın gerek geometrik gerekse işletimsel özellikleri kavşağa gelen trafik akımlarının karakteristiklerine göre belirlenmekte ve kavşak tasarımı ve inşası bu duruma göre yapılmaktadır. Kavşak tasarımı sırasında belirlenmesi gereken trafik akım karakteristikleri aşağıda verilen şekilde listelenebilmektedir (Akmaz 2012; İnançlı 2012):

- i) Kavşak kollarına gelen trafik akımının miktarı (YOGT olarak),
- ii) Mevcut trafiğin zamansal olarak değişimi (gün, hafta, ay, yıl),
- iii) Mevcut durumda kavşak kollarına gelen taşıtların yüzdeleri (otomobil, kamyon vb.),
- iv) Anayoldaki proje hızı (km/sa),
- v) Kavşak kollarına zirve saatlerde gelen trafiğin yönler göre yüzdesel dağılımı (Düz giden, sağa ya da sola dönen olarak),
- vi) Şehiriçi kavşaklarda terminal, otopark, yol kenarı parklanma, otobüs durağı vb. durumların kavşak kollarına olan uzaklığı,
- vii) Kavşağı kullanan mevcut yaya sayısı ve bunların ortalama yürüyüş hızı (km/sa),
- viii) Mevcut kavşakta daha önce meydana gelmiş olan trafik kazalarının özellikleri (sayısı, türü, zamanı vb.).

Eşdüzey kavşak tasarımında özellikle tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken dört farklı önemli geometrik özellik bulunmaktadır (Şekil 2.4). Bunlar sırasıyla:

- i) Kavşaktaki kol sayısı,
- ii) Kavşak kolları arasında açı değeri,
- iii) Kavşak kollarına yaklaşımdaki efektif görüş uzunluğu,
- iv) Kavşağın bir önceki ve bir sonraki kavşak ile arasındaki mesafedir.



Şekil 2.4. Eşdüzey kavşaklar için özellikle tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken temel hususlar.

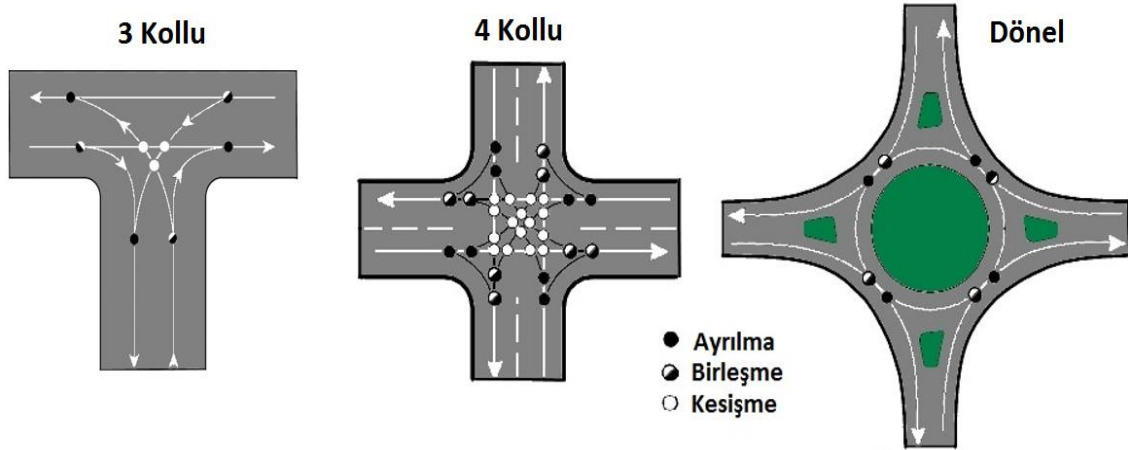
Yukarıda detaylı olarak anlatılan temel tasarım prensiplerinin yanı sıra eşdüzey kavşakların tasarımında dikkat edilmesi gereken diğer hususlar aşağıda verilmiştir (Akmaz 2012). Bunlar:

- i) Birbirine yakın kavşaklardaki farklı denetim sistemlerinin olmaması,
- ii) Sürücüler ve yayalar için efektif trafik işaretlemelerinin yapılması,

- iii) Kavşakların yatay ve düşey kurplar üzerinde inşaa edilmemesi,
- iv) Kavşak noktalarında boyuna eğimin %3'ten büyük olmaması,
- v) Kavşak girişlerinde yeterli görüş mesafelerinin uzunluğunun sağlanabilmesi amacıyla kavşak köşelerinde üçgen görüş alanlarının oluşturulması ve bu görüş alanları üzerine görüşü engelleyen (tabela, direk, ağaç vb.) herhangi bir engel konulmamasıdır.

2.3.2. Eşdüzey kavşaklardaki trafik akım karakteristikleri

Eşdüzey kavşaklar tasarım özelliği gereği farklı doğrultulardan gelen taşıt hareketlerine maruz kalmaktadır. Yetkililer ve ulaşım plancılarının kavşak tasarımındaki ana amacı güvenli, ekonomik ve işletim özellikleri açısından iyi bir performansa sahip bir kavşak tasarlamaktır. Her ne kadar bu üç parametre iyi bir kavşak tasarımının anahtar parametreleri olsa da gerek karar vericiler gerekse ulaşım plancıları kavşak tasarımında güvenliği ön planda tutmaktadır. Literatürde mevcut olan kavşak tasarım çalışmalarının çoğunluğu kavşaklarda güvenliği en iyi duruma getirmek üzerinedir (Guo vd. 2010; Xie vd. 2013; Li vd. 2017; Elvik 2017). Eşdüzey kavşaklarda en temel ve önemli güvenlik problemi kavşak kolları ve kavşak içerisindeki karmaşadır. Genel olarak kavşak kolları ve içerisindeki bu karmaşayı meydana getiren ana sebepler, kavşak içerisindeki üç farklı (ayrılma hali, birleşme hali ve kesişme hali) taşıt hareketidir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Bazı kavşak tiplerine kavşak içerisindeki karmaşa noktaları.

Kavşaklarda ayrılma hali, aynı doğrultuda hareket eden taşıtların aynı yönden farklı yönlerde doğru hareket etmesi olarak; birleşme hali, taşıtların ortak bir doğrultuda yani aynı yönde hareket etmek üzere birbirlerine yaklaşması olarak; kesişme hali ise taşıtların farklı doğrultularda hareket ederken birbirlerinin yolunu kesecek şekilde hareket etmeleri olarak tanımlanabilmektedir. Kavşak türlerine göre eşdüzey kavşaklar içerisinde meydana gelen karmaşa noktalarının sayısı Çizelge 2.1'de verilen şekildedir.

Çizelge 2.1. Bazı eşdüzey kavşak tiplerinde görülen karmaşıklık noktaları, sayısı ve türleri (Kutlu, 1993).

Kavşak Tiplerine	Kavşak Kol Sayısı	Karmaşa Noktalarının Sayısı			
		Kesişme	Birleşme	Ayrılma	Toplam (Σ)
T	3	3	3	3	9
T	4	16	8	8	32
T	5	49	15	15	79
T	6	124	24	24	172
Dönel	3	0	3	3	6
Dönel	4	0	4	4	8

Kavşaklarda uygulanan bağımsız dönüş şeritleri ile kavşak kollarındaki sinyalizasyon veya sinyalizasyon olmayan trafik kontrolü, kavşaklardaki karmaşa noktalarını düzenleyerek kavşak güvenliğini arttırmaktadır. Bu yüzden kavşaklarda güvenlik için sinyalizasyon sistemleri hayati bir öneme sahiptir. Fakat Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülkede sürücülerin kavşak işaretlemelerine ve sinyalizasyon sistemine uygun hareket etmemesi yani kurallara uymama eğiliminde olması sonucu yukarıda belirtilen karmaşa noktalarında sıklıkla kazalar görülebilmektedir. Bu yüzden efektif bir sinyalizasyon tasarımının yanı sıra etkili bir kavşak geometri tasarımının da yapılması, kavşak güvenliğini artırarak hem güvenlik hem de işletim performansı açısından olumlu katkılar sağlayacaktır.

2.3.3. Eşdüzey kavşaklarda sinyalizasyon

Eşdüzey kavşaklardaki trafik akımlarının kontrol edilebilmesi, sürücü ve yayalara gerekli bilgilendirme ve yönlendirmelerin yapılmasında diğer trafik işaretlemeleri ile birlikte kullanılan sistemlerdir (Akmaz 2012). Bu kavşaklarda sinyalizasyon, özellikle taşıt talebinin yüksek olduğu yol kesimlerinde kullanılmaktadır (Çetinkaya 2008). Kavşaklarda sinyalizasyon uygulaması güvenlikten kapasiteye kadar birçok farklı avantaj sağlamaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin kavşaklarda sağlamış olduğu avantajlar aşağıda verilen şekilde maddeler halinde sıralanabilmektedir (Çetinkaya 2008; Akmaz 2012):

- Kavşaklarda düzenli trafik akımları elde edilebildiğinden bu kavşaklarda kapasitede ve kavşak güvenliğinde yüksek performans görülmesi,
- Yan yollardan gelen trafik akımının güvenli şekilde kavşak içerisine girerek istediği doğrultuda hareket edebilmesi,
- Trafik akımının düzenlenmesi ile birlikte trafik kazalarında azalma (özellikle kafa kafaya, yandan ve arkadan çarpma),
- Yayalar için güvenli karşıdan karşıya geçiş sağlama ve yaya kazalarını azaltma.

Kavşaklarda sinyalizasyon sistemleri yaya ve taşıtların kavşak içerisindeki hareketlerini kontrol ederek güvenliğini sağlama ve kavşak performansını artırma gibi birçok avantaja sahip olsa da yanlış uygulama ve yetersiz sinyalizasyon uygulamaları sonucunda aşağıda verilen dezavantajlara da sahip olabilmektedir:

- i) Kavşak kapasitesini düşürme,
- ii) Taşıt kuyruklarında artış nedeniyle yüksek gecikme değerlerinin görülmesi ve bunun sonucunda sürücülerde kurallara itaatsizlik ve agresif davranışların görülmesi.

2.3.3.1.Sinyalizasyon sistemlerindeki temel kavramlar

Kavşaklardaki sinyalizasyon sistemleri genel olarak birçok parametreye sahiptir. Bu parametreler kavşakların işletim performanslarının teorik olarak hesaplanmasında aktif olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında ilerleyen bölümlerde yapılan performans analizlerinde kullanılacak parametrelere ait gerekli açıklamalar aşağıda verilen şekilde özetlenmektedir:

Faz Süresi: Bir sinyalizasyon kavşakta, kavşak kollarındaki taşıt hareketlerini etkin ve güvenli bir şekilde belirleyen temel kontrol mekanizması sinyal fazıdır. Her bir kavşak kolunun kendisine özgü sinyal süresi (faz süresi) ve faz durumları mevcuttur. Faz süresi bir veya birden çok trafik akımının kavşaktan geçiş sırasının düzenlendiği toplam sinyal süresinin bir aşaması olarak da tanımlanabilmektedir.

Devre Süresi (C): Sinyalizasyon bir kavşakta birbirini takip eden sinyal fazlarının tamamlanması ile elde edilen bir tur, o kavşağa ait devre süresi olarak tanımlanmaktadır. Yani özetle devre süresi bir sinyalizasyon kavşakta bir turun tamamlanması ile elde edilen toplam süre olarak adlandırılmaktadır.

Yeşil Süre (G): Bir fazda yeşil ışığın verildiği süreye denir.

Kırmızı Süre (R): Bir fazda kırmızı ışığın verildiği süreye denir.

Yeşiller Arası Süre (I): Sinyalizasyon bir kavşakta bir devre süresi içerisinde bir fazdaki yeşil sürenin bitişi ile bir sonraki fazın yeşil süresinin başlangıcı arasında geçen süreye denir.

Efektif Yeşil Süre (g): Bir sinyalizasyon kavşak kolunda taşıt ve sürücülerden kaynaklanan gecikmeler olmadığı varsayılarak hesaplanan yeşil süredir. Yani toplam yeşil süreden başlangıç ve bitişteki kayıp sürelerin çıkarılmış halidir.

Ortak Kırmızı Süre: Tüm kavşak kollarına aynı anda kırmızı ışığın yandığı süredir.

Efektif Kırmızı Süre (r): Herhangi bir kavşak kolundaki trafik akımının durduğu toplam süredir.

Doygunluk Derecesi (X): Bir kavşak kolundan birim zamanda geçen taşıt sayısının o koldan geçebilecek taşıt sayısına oranı (v/c)'dır.

Doygun Akım Oranı (s): Doygun akım koşulları altında, bir yeşil saatte geçebilecek maksimum taşıt sayısı olarak tanımlanmaktadır

Gecikme (D): Bir taşıtın, kendi kontrolü dışında çevresel etkenler yüzünden kaybettiği toplam süredir.

Kuyruk Uzunluğu (N): Sinyalize bir kavşakta ışıktan kaynaklı olarak duran ve durmaya başlayan taşıtların oluşturduğu toplam uzunluktur.

2.3.3.2.Sinyalizasyon sistemlerinin türleri

Eşdüzey kavşaklarda sinyalizasyon planlamasında genellikle “izole” ve “koordine” sistemler kullanılmaktadır. İzole sistemler en genel haliyle yakındaki diğer kavşaklarda kurulu olan sinyalizasyon sisteminin etkilemediği sadece o kavşakta bağımsız olarak çalışan sistemler olarak tanımlanabilmektedir. Bu sistemlerde kendi içerisinde sabit zamanlı, trafik uyarmalı, yaya uyarmalı ve el ile kumandalı olmak üzere dört farklı çalışma prensibine sahiptir (Çetinkaya 2012).

Sabit zamanlı sistemde kavşağa farklı yönlerden gelen taşıt ve yaya trafiğine, daha önceden planlamacılar tarafından belirlenmiş sürelerle uygun olarak sıra ile kontrollü şekilde geçiş hakkı verilmektedir. Bu sistemlerden iyi performans alabilmek için ulaşım planlarının çok sayıda ve yeterli trafik sayımı yaparak iyi bir tasarım yapmaları gerekmektedir.

Trafik uyarmalı sistemde taşıtların geçiş hakkı, geçiş sırası ve süresi kavşak içerisine yerleştirilen taşıt sayılarını algılayan sistemler tarafından hesaplanan yoğunluğa göre belirlenmektedir. Bu sistemde kendi içerisinde yarı uyarmalı ve tam uyarmalı olarak iki kısma ayrılır. Yarı uyarmalı sistemde ana yollara sürekli yeşil ışık yanmakta olup yan yoldan taşıt gelmesi durumunda sistem devreye girerek yan yol için sinyal planını düzenlemektedir. Yarı uyarmalı sistem genellikle yan yoldaki trafik akımı düşük olan kavşaklarda uygulanmaktadır. Tam uyarmalı sistemde ise sistem tüm kavşak kollarındaki taşıt yoğunluğunu sürekli olarak hesaplamakta ve ona göre sinyal planlaması yapmaktadır.

Yaya uyarmalı sistemde sinyalizasyon genellikle kavşaklarda, bazı katılım yollarının giriş ve çıkışları ile kavşak olmayan yaya geçitlerinde uygulanmaktadır. Bu sistemin çalışma prensibine göre taşıtlara verilen sürekli geçiş hakkı yaya geçidine gelen yayaların uyarı butonuna basarak sistemi uyarması ile aktif hale gelmekte ve yayalara güvenli geçiş için sistem sinyal planlaması yapmaktadır. Bu sistem gerekli olması halinde sabit zamanlı ve trafik uyarmalı sistem içerisine entegre edilerekte kullanılabilir.

El ile kumanda sisteminde ise sistemin bulunduğu kavşaktaki tüm ışıklar bir kumanda ile dışarıdan bir yetkili tarafından kontrol edilebilmektedir. Bu tür sistemlerde genellikle sabit zamanlı olarak tasarlanmıştır. Fakat bazı durumlarda, yani sabit zamanlı sistemin taşıt hareketlerini kontrol etme ve düzenleme de yetersiz kaldığı durumlarda kavşak performansını arttırmak amacıyla süreler kullanıcı tarafından düzenlenebilmektedir.

Koordine sinyalizasyon sistemi ana yollarda birbirlerine yakın kavşaklar arasında sık duruş kalkışları düzenleyerek gecikmeleri azaltmak amacıyla kavşaklardaki sinyalizasyon sistemlerinin belirli bir prensibe göre birbirlerine bağlanması şeklinde uygulanmaktadır. Koordine sinyalizasyon sistemi de kendi içerisinde dört farklı çalışma prensibine sahiptir (Ayfer 1977; Çetinkaya 2012). Bunlar senkronize, alternatif, progresif ve arazi trafik kontrol sistemleridir.

Senkronize sisteme göre birbirleriyle entegre olarak çalışan tüm kavşaklarda anayol üzerindeki tüm ışıklar aynı anda aynı renge sahiptir. Sistemin trafik akımına uymasının güç olması ve bunun sonucunda kapasiteyi azaltması, sürekli akıma engel olarak trafik akımını kesintiye uğratabilmesi, hızların artmasına sebep olabilmesi, yetersiz zaman ayarlaması yapılarak tüm kavşaklara uyamaması gibi nedenlerden dolayı kullanımı çok önerilmemektedir. Bu sistemler tüm kavşakların sinyalize olması ve kavşaklar arası mesafenin kısa ve ana yola daha fazla yeşil süre verilmesi gereken durumlarda aktif olarak kullanılabilir (Kutlu 1993).

Alternatif sistemlerde bir ana yol boyunca birbirini takip eden kavşaklarda arka arkaya zıt ışıklı sinyaller verilerek uygulanmaktadır. Sistemin amacı taşıtların iki kavşak arasındaki uzaklığı, sinyalize sistemin bir devre süresinin yarısı kadar sürede almasını sağlamaktır. Bu durum sonucunda taşıtların ana yol üzerinde sabit bir hızla seyretmesini sağlamak amaçlanmaktadır. Sistemin başarılı olabilmesi için kavşaklar arasındaki mesafenin belirli uzaklıklarda olması ve birbirini takip eden kavşaklar arasındaki uzaklıkların çok farklı olmaması gerekmektedir.

Progresif sistemlerde ana yol üzerinde yer alan tüm sinyalize kavşaklardaki devre süreleri aynıdır. Bu kavşaklardaki yeşil süreler taşıtların proje hızında hareket etmesi durumunda tüm taşıtların ışığa takılmadan kesintisiz şekilde yoluna devam etmesini sağlamaktadır. Bu sistem “Yeşil Dalga” olarak adlandırılmakta olup son yıllarda Türkiye’de olduğu gibi birçok ülkede etkin olarak kullanılmaktadır.

Arazi trafik kontrol sistemlerinde ise yukarıda açıklanan üç farklı sistem birlikte ve birbirlerine entegre olacak şekilde kullanılarak, kavşaklarda işletme açısından en uygun performans elde edilmeye çalışılmaktadır (Minimum gecikme, kuyruk uzunluğu vb.). Bu sistemde birçok farklı doğrultudan gelen farklı trafik akımları için aynı sistemleri kullanmak mümkün olmadığından hazırlanan kavşak yönetim sistemleri inceleme Yapılan kavşak için en uygun olanını seçmekte ve o sistem aktif hale gelmektedir (Ayfer 1977).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Analizlerde Kullanılacak Verilerin Elde Edilmesi

Konu ve kapsam bölümünde de değinildiği üzere Türkiye'deki şehiriçi kavşaklarda yukarıda detaylı olarak anlatılan problemlerin görülmesindeki en büyük etken, kavşakların standartlara uygun olarak değil mevcut arazi koşullarının (kamulaştırma olanaklarının) elverdiği şekilde planlanması ve inşasıdır. Bu çalışma da belirtilen problemlerden kaynaklı oluşan tüm sorunları irdeleyebilmek için pilot kent olarak Antalya şehir merkezinde yer alan kavşaklar seçilmiş ve bu kavşaklardan çalışma için gerekli olan tüm veriler yapılan saha gözlemleri yardımıyla toplanmıştır.

3.1.1. Geometri problemine sahip incelenecek şehiriçi kavşakların belirlenmesi

Çalışma kapsamında incelenecek kavşakların seçiminde Çizelge 3.1'de verilen kriterler belirlenmiş; bu kriterleri sağlayan ve disiplinsizliklerin inceleneceği bir şehiriçi yol güzergâhı üzerinde yer alan yedi adet sinyalize ve bu yol ağına bağlanan bir diğer yol ağı üzerinde yer alan bir adet sinyalize ve bir adet sinyalize olmayan kavşakla birlikte toplam dokuz adet kavşak seçilmiştir (Şekil 3.1). Bu kavşaklara ait örnek görseller, kavşakların mevcut geometrik planları ve kavşaklardaki mevcut problemler sinyalize kavşaklar için Şekil 3.2-3.11'de verilmektedir. Ayrıca her bir kavşakta gözlemlenen problemlere ait bilgiler Çizelge 3.2'de özetlenmektedir. Çizelge 3.1'de belirtilen kriterler dikkate alınarak Türkiye'de şehiriçi sinyalize olmayan dört kollu kavşaklara örnek olarak Akdeniz Üniversitesi Güney kapısı çıkışında yer alan 9 numaralı kavşak seçilmiştir (Şekil 3.10). Bu kavşak tez çalışmasına başlandığı ilk anda sinyalize olmayan dört kollu kavşak özelliğine (Kavşak 9a) sahip olup çok fazla kaza görülmesi sebebiyle ilerleyen zamanda yetkililer tarafından sinyalize olmayan dört kollu dönel kavşağa (Kavşak 9b) dönüştürülmüştür. Bu da çalışma kapsamında her iki durum arasında sürücü davranışlarını karşılaştırma imkânı sağlamıştır. Bu amaçla analizlerde kullanmak için her iki duruma ait veri toplanmıştır. Sinyalize olmayan 9 numaralı kavşağın eski ve yeni durumuna ait örnek görseller ise sırasıyla Şekil 3.10 ve 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında incelenecek kavşakların belirlenmesi amacıyla hazırlanan kriterler.

Kriter No	Seçim Kriterleri
1	Yaklaşım kollarında kırmızı ışıktaki illegal ek şerit oluşumu görülen,
2	Üç veya Dört kollu ve ana arterler üzerinde yer alan,
3	Sinyalize dönel veya dönel olmayan,
4	Yaklaşım kollarında şerit sayısı ve genişliği problemi olan,
5	Standartlara uygun olarak tasarlanmamış,
6	Yaklaşım kollarında ve kavşak içerisinde karmaşanın çok olduğu,

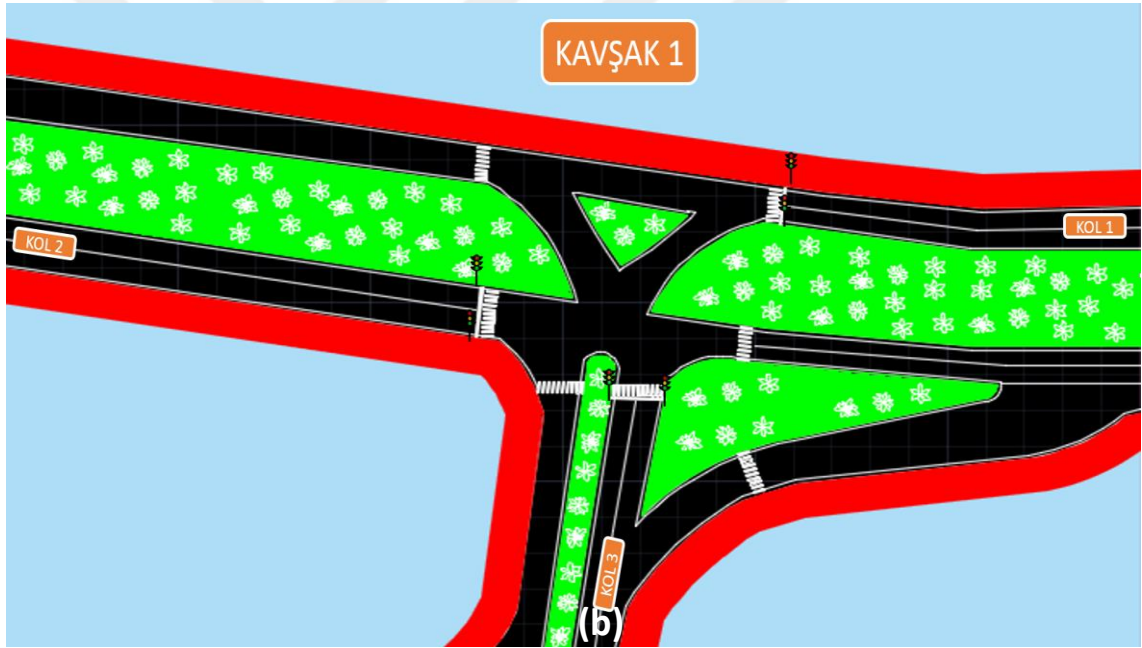
Çizelge 3.1. Devamı.

7	Hatalı dönüş cebi tasarımları olan,
8	Eşdüzey ve birbiriyle izole.



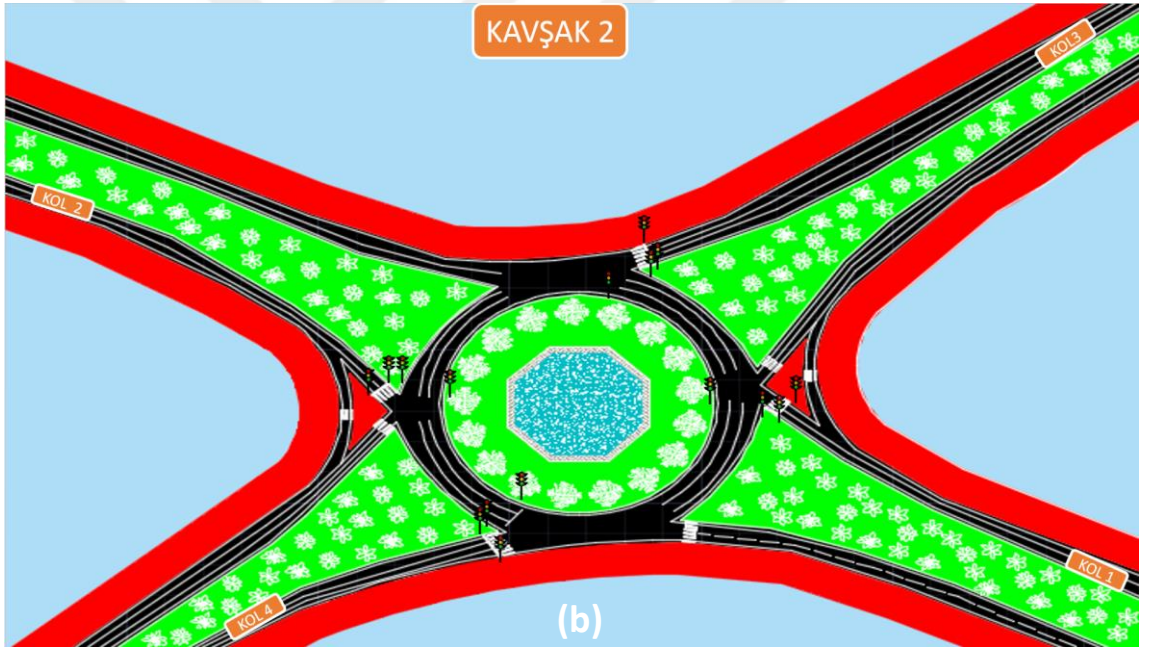
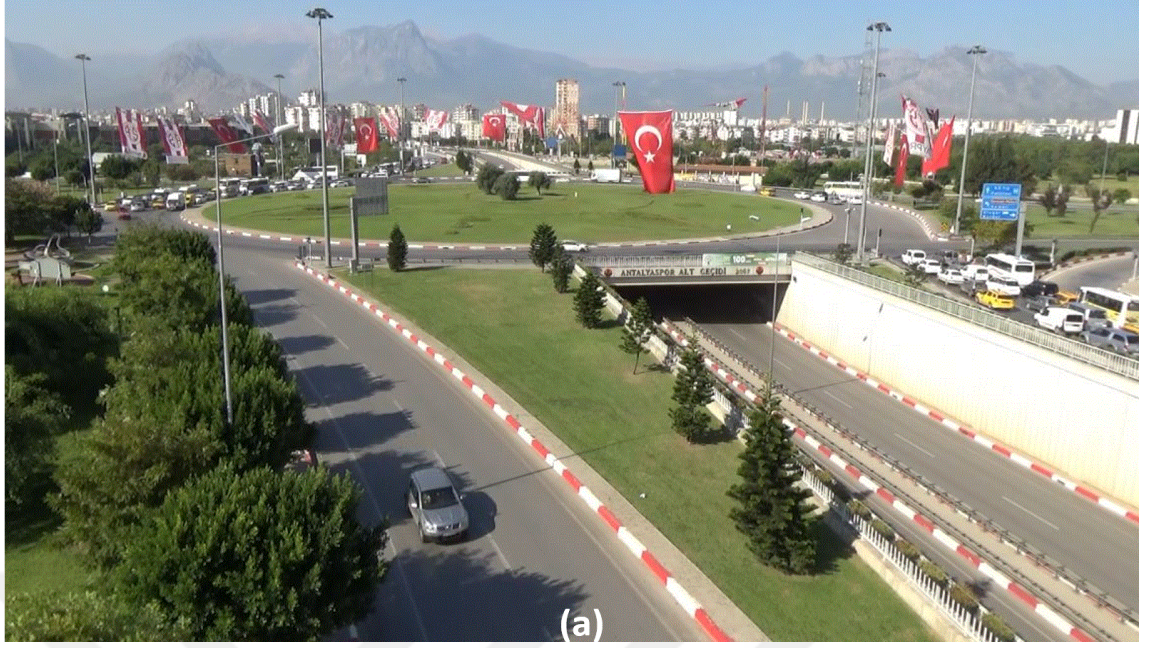
Şekil 3.1. Çalışma kapsamında incelenecek olan dokuz farklı kavşak ve bu kavşakların harita üzerindeki konumları.

Çalışma kapsamında geometri problemi olan sinyalizasyonlu üç kollu kavşakları değerlendirebilmek amacıyla örnek olarak Markantalya yanında bulunan 1 numaralı kavşak seçilmiştir (Şekil 3.2).

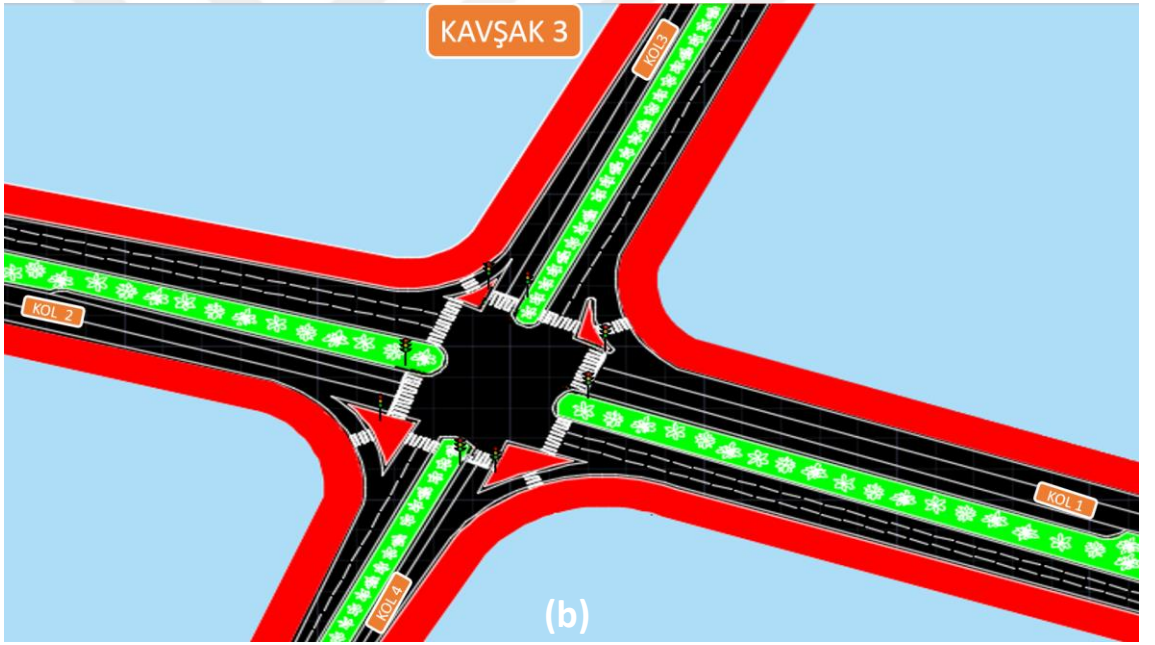
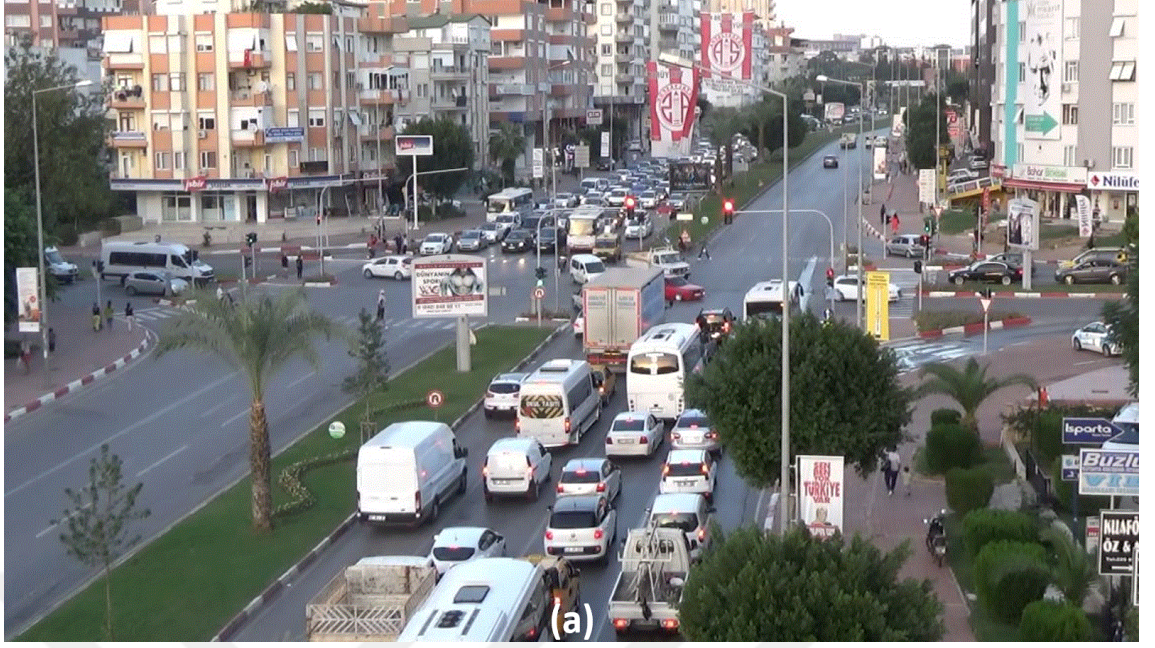


Şekil 3.2. a) Seçilen 1 numaralı kavşak (Mezarlık Kavşağı) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.

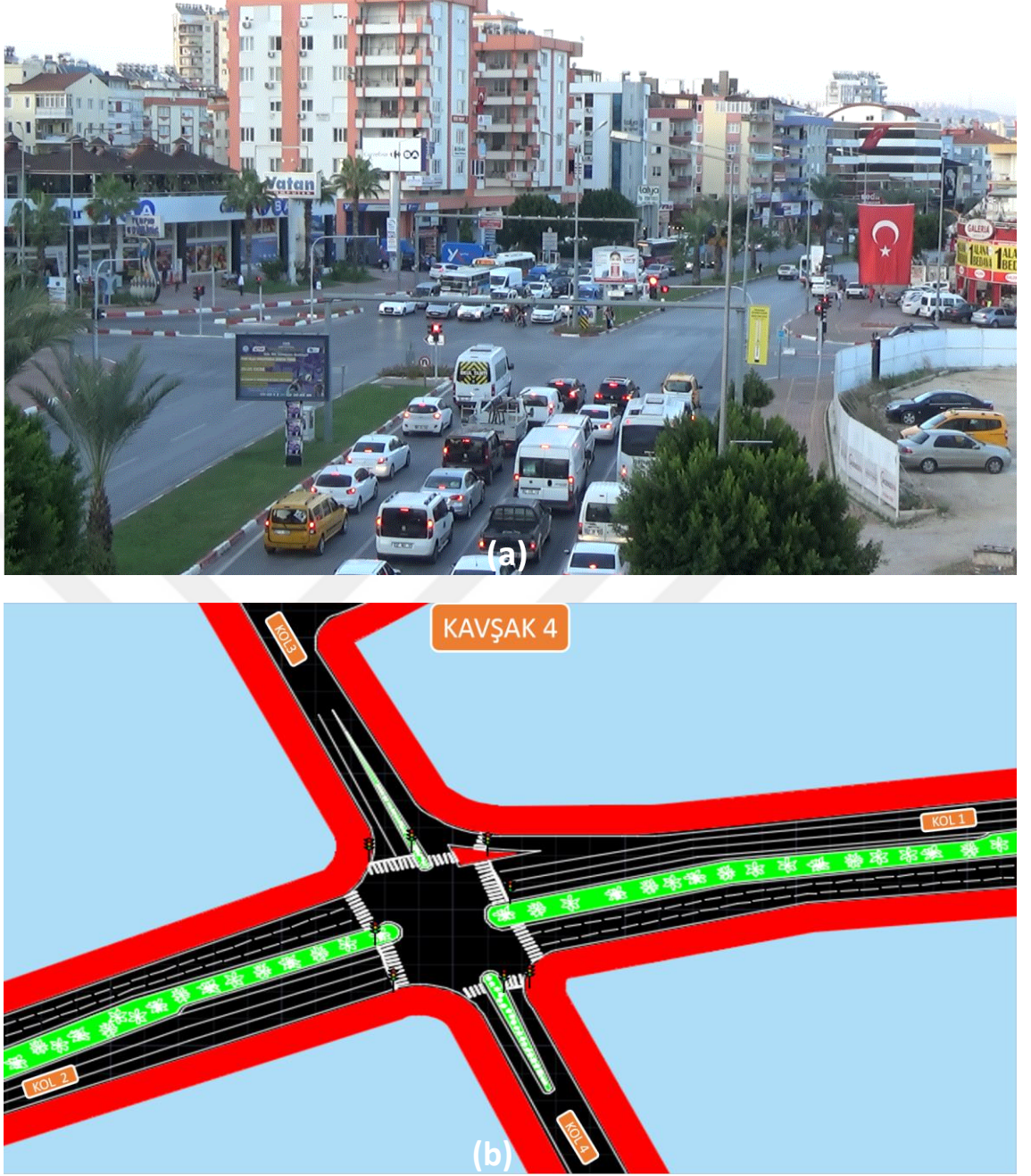
Analizlerde herhangi bir kavşak ve onunla bağlantılı linklerde yapılacak düzenlemelerin yakın diğer kavşaklarda yapacağı etkileri görmek oldukça önemlidir. Bu amaçla aynı ana arter üzerinde yer alan ve her birisinde farklı geometrik problemlerin bulunduğu (Antalya Doğu-Batı aksı) sinyalize dört kollu kavşaklara örnek olarak altı farklı (Kavşak No 2-7) kavşak seçilmiştir. Bu kavşaklardan 3, 4, 5 ve 6 numaralı olanlar sinyalize dört kollu, 2 ve 7 numaralı olanlar ise sinyalize dönel ve dört kollu kavşaklardır. Aynı koridor üzerinde yer alan bu kavşaklar ait görseller Şekil 3.3-3.8’de verilmiştir.



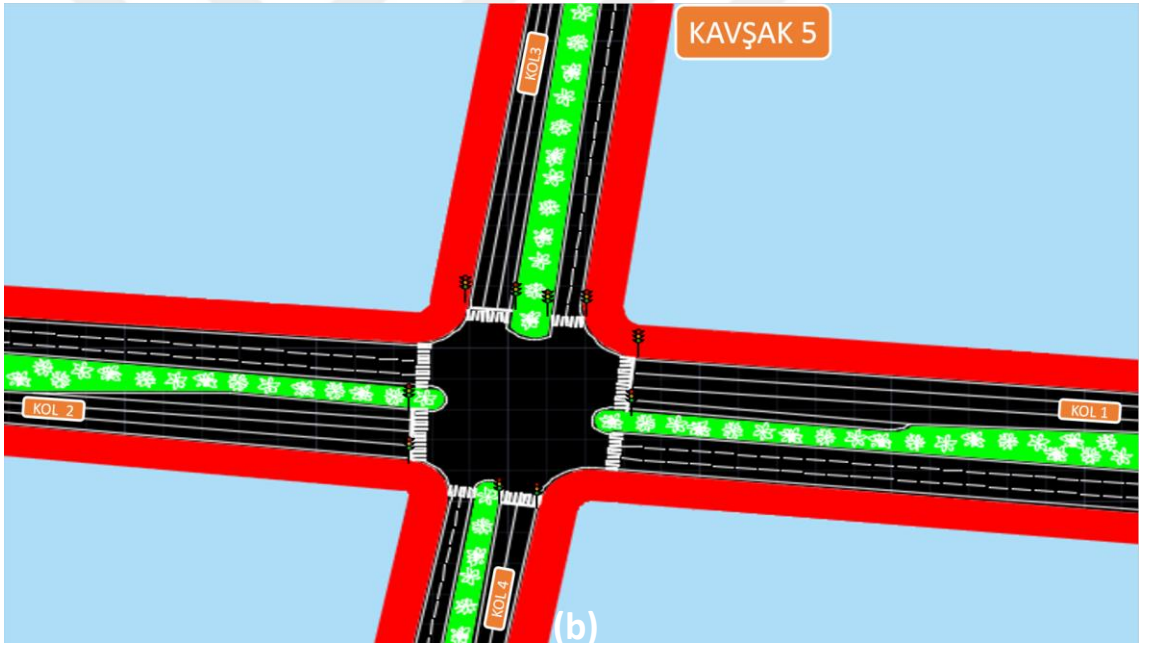
Şekil 3.3. a) Seçilen 2 numaralı kavşak (Antalyaspor Kavşağı) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.



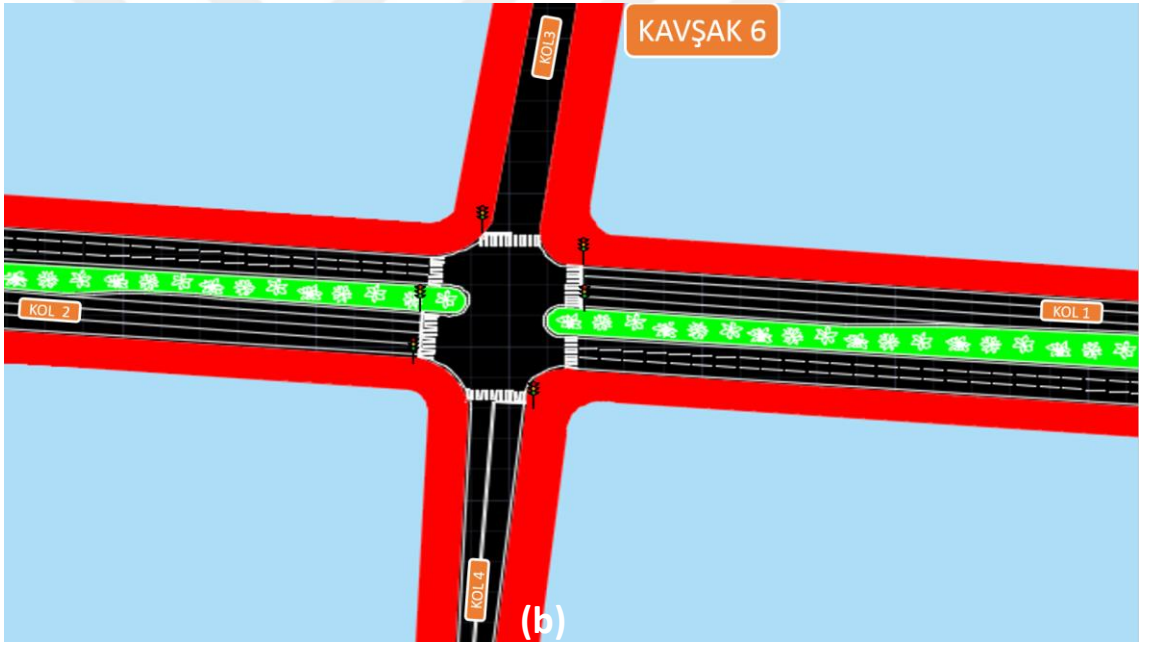
Şekil 3.4. a) Seçilen 3 Numaralı Kavşak (İl Sağlık Kavşağı) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.



Şekil 3.5. a) Seçilen 4 Numaralı Kavşak (Galleria Kavşağı) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.



Şekil 3.6. a) Seçilen 5 Numaralı Kavşak (Türkay Kavşağı) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.

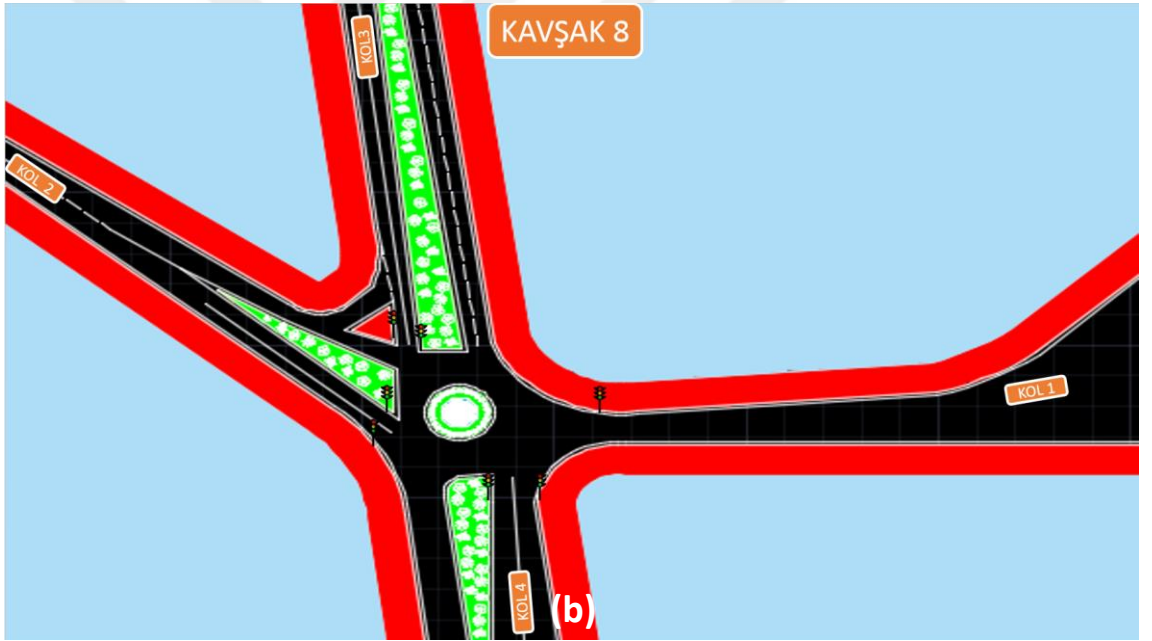
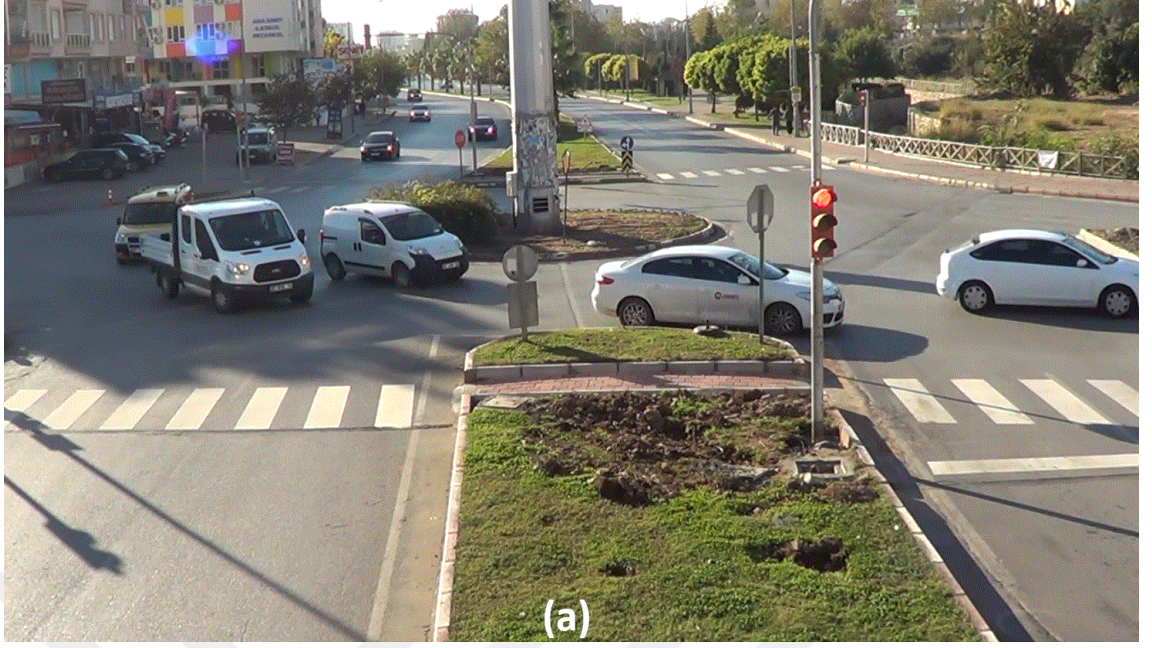


Şekil 3.7. a) Seçilen 6 Numaralı Kavşak (Konyaaltı Bel. Ek Hizmet Binası Önü) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.

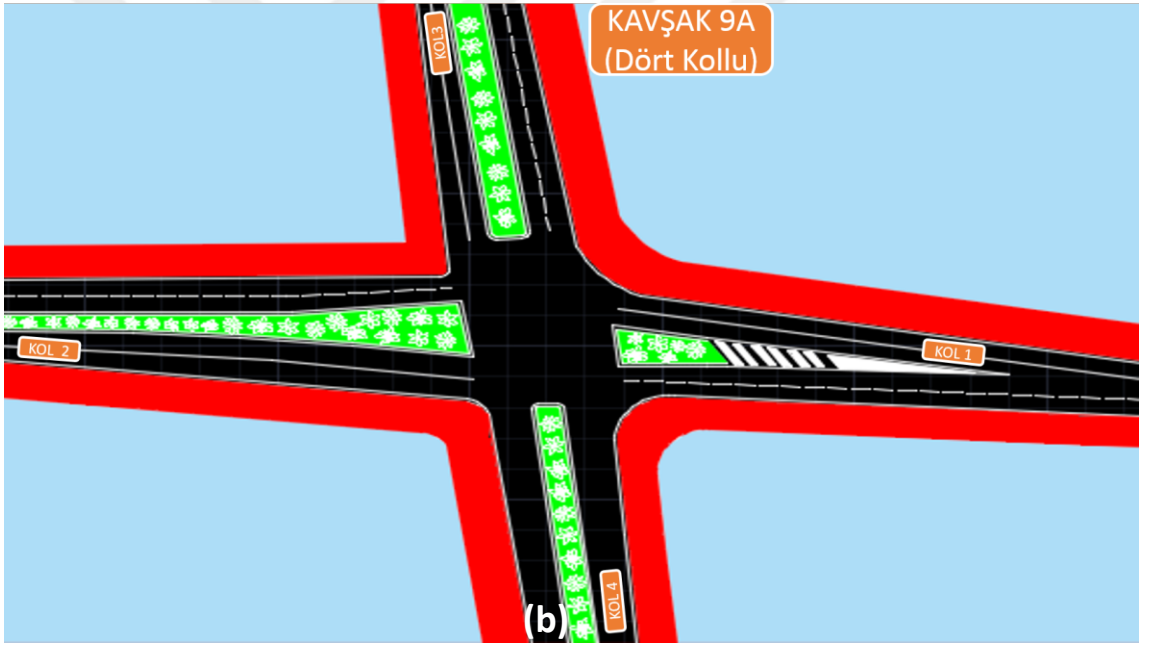


Şekil 3.8. a) Seçilen 7 Numaralı Kavşak (Konyaaltı ATM'ler) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.

İncelenen güzergâh dışında geometri problemi olan ve rastgele seçilen kavşaklara örnek olarak, sinyalizasyon dört kollu dönel fakat ada etrafında sinyalizasyon sistemi olmayan kavşak olarak Şekil 3.9'da verilen 8 numaralı kavşak seçilmiştir.



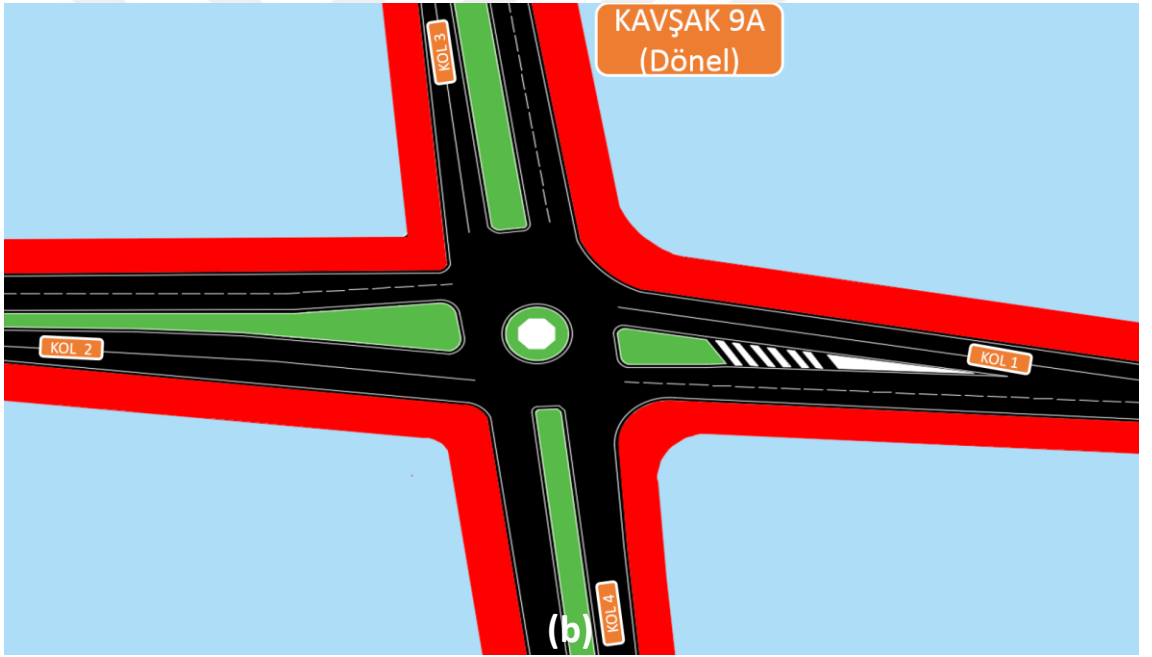
Şekil 3.9. a) Seçilen 8 numaralı kavşak (Arapsuyu Mah.) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.



Şekil 3.10. a) Seçilen 9 numaralı kavşak (Akdeniz Üniv. Güney Kapısı) için kavşağın eski hali (dört kollu) ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.



(a)



(b)

Şekil 3.11. a) Seçilen 9 numaralı kavşak (Akdeniz Üniv. Güney Kapısı) için kavşağın yeni hali ve **b)** kavşaktaki mevcut problemler.

Çizelge 3.2. Kavşaklarda gözlemlenen problemler ve görüldüğü kavşak numaraları.

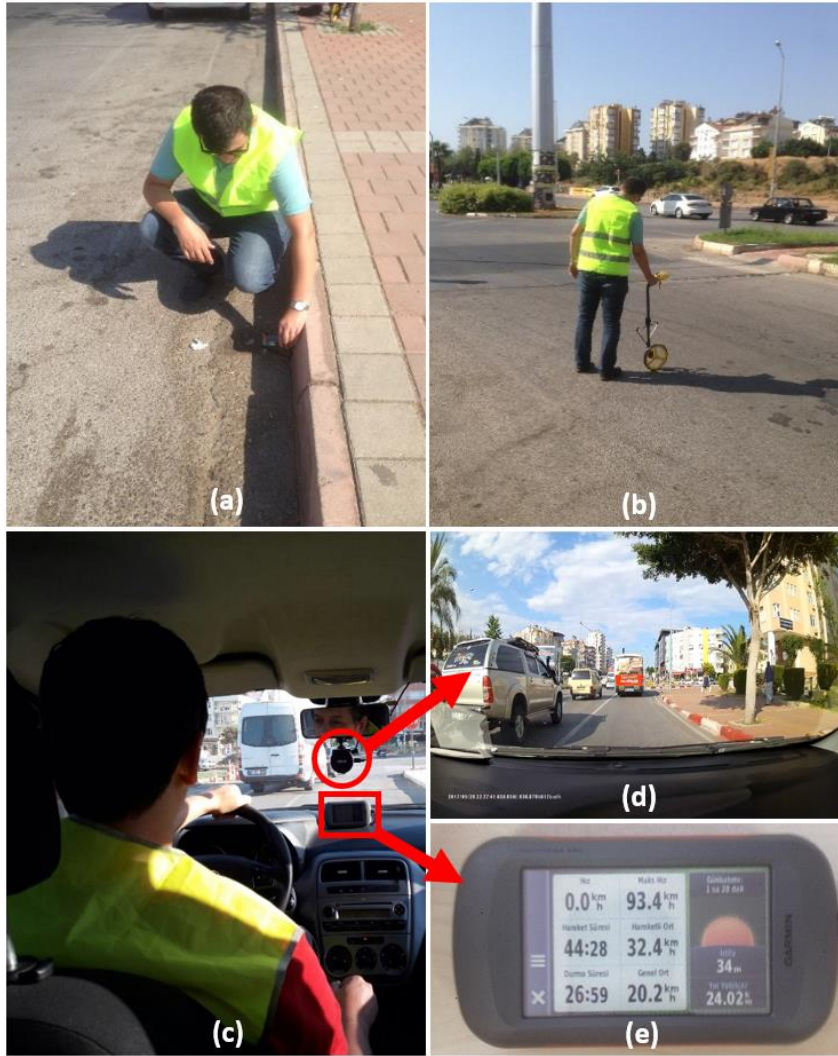
No	Kavşaklarda Gözlemlenen Problemler	Görüldüğü Kavşaklar (Kavşak No)
1	Şerit genişlikleri birbirinden farklı ve standartlara uygun değildir.	1-2-3-4-5-6-7-8-9A-9B
2	Refüj tasarımları orantısız ve uygun geometriye sahip değildir.	1-4-5-6-9A-9B
3	Kol 3 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmemektedir.	1-2-3-4-5-8
4	Kol 4 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmemektedir.	2-3-4-5-7-8
5	Tüm kollardaki sağa dönüş cepleri için ek şerit gerekmektedir.	2-5-7-9A-9B
6	Kol 2 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmemektedir.	1-4-5-7
7	Kol 1'de ek şerit oluşmaktadır.	3-4-5-6
8	Kol 2 için sola dönüş ceplerinin uzunlukları yetersizdir ve bu yüzden ek şerit oluşmaktadır.	3-4-5-6
9	Şerit genişlikleri kollarda ve dönel ada etrafında orantısız dağılmaktadır.	2-7-8
10	Tüm kollarda ek şerit oluşmaktadır.	2-3-7
11	Mevcut sağa dönüş ceplerinin tasarımını yanlış ve bu yüzden efektif değildir.	2-7-8
12	Kol 1 için sola dönüş ceplerinin uzunlukları yetersizdir ve bu yüzden ek şerit oluşmaktadır.	4-5-6
13	Bazı kollarda şerit çizgi kalitesi düşük ya da şerit çizgisi hiç yoktur.	1-8
15	Yaya geçidi çizgileri mevcut değildir.	9A-9B

Çizelge 3.2. Devamı.

16	Kol 1 için ek bir sağa dönüş cebi gerekmemektedir.	3-4
17	Kol 3'de ek şerit oluşmaktadır.	4-6
18	Kol 4'de ek şerit oluşmaktadır.	5-6
19	Kolların genişlikleri düzensiz ve ani değişkenlik göstermektedir.	9A-9B
20	Şerit çizgilerinin yol üzerinde işaretlenmesi hatalıdır.	9A-9B
21	Hangi kavşak kolunun öncelikli olacağı algısı net değildir.	9A-9B
22	Ada içerisindeki fazla şerit genişliği karmaşaya sebep olmaktadır.	2
23	Kol 3'de ek şerit oluşması sebebiyle örülme bölgesinde karmaşa meydana gelmektedir.	1
24	Kol 4'e yanlış kol tasarımı kavşak içi ve sonrasında kazalara sebep olmaktadır.	9e
25	Refüj tasarımları orantısızdır ve uygun bir geometriye sahip değildir.	3
26	Kol 3'de hiçbir şerit çizgisi yoktur ve şerit genişliği oldukça fazladır.	6

3.2. Geometri Problemine Sahip Kavşakların Geometrik ve Karakteristik Özelliklerinin Belirlenerek Gözlem Verilerinin Toplanması

Veriler toplanmadan önce ilk olarak, seçilen kavşakların geometrik (şerit genişliği, yanal açıklıklar, çizgi kalınlıkları ve platform genişliği) ve karakteristik (şerit sayısı, ek şerit sayısı, kol sayısı, kavşak türü ve kavşaktaki problemler) özellikleri detaylı olarak belirlenmiştir. Sonraki adımda ise lazermetre ve tekerlekli mesafe ölçüm cihazları kullanılarak tüm kavşakların geometrik (şerit genişlikleri, çizgi kalınlıkları, kollardaki platform genişlikleri yanal açıklıklar ve ada çapları) ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.12). Ayrıca incelenen kavşaklar arasında gezgin araç yöntemiyle El GPS'i kullanarak kavşaklar arası mesafeler ölçülmüştür (Şekil 3.12 c-d). Elde edilen uzunluklar Çizelge 3.3'te verilmektedir. Ölçülen bu uzunluklar, geliştirilecek program ve mikro simülasyon programı ile yapılacak hesaplamalardan elde edilecek ortalama kuyruk uzunluklarının (taşıt/devre) incelenen kavşak için kendisinden önceki kavşağı etkileyip etkilemeyeceğinin belirlenmesinde kullanılacaktır.



Şekil 3.12. İncelenen kavşaklara ait geometrik ölçümlerin yapılması.

Çizelge 3.3. El GPS’i yardımıyla ölçülen kavşaklar arasındaki geometrik uzunluklar.

İncelenen Kavşaklar		Kavşaklar Arası Ortalama Mesafe (m)
Kavşak No	Kavşak No	
1	2	3970
2	3	1350
3	4	880
4	5	1400
5	6	760
6	7	1420
3	8	500
8	9	520

Yapılan saha gözlemleri ve geometrik ölçümlere göre kavşaklara ait yapısal özellikler Çizelge 3.4’te verilen şekilde elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerden tüm kavşaklardaki şerit çizgilerine ait kalınlıkların standart bir değer (0,15 m) olduğu ölçülmüş ve bu standart çizgi kalınlığı kavşak kollarının platform genişliği hesaplamalarına dâhil edilmiştir.

Çizelge 3.4. İncelenen kavşaklara ait saha ölçümlerinden elde edilen geometrik ve karakteristik özellikler.

Kavşak No	Kol No	Şerit No	Ek Şerit Sayısı (Oluştugu Şerit)	Yanal Açıklık (metre)	Şerit Genişliği (metre)	Çizgi Kalınlıkları (metre)	Toplam Platform Genişliği (metre)
1	1	1	—	0,35	3,00	3×0,15=0,45	7,15
		2		0,25	3,10		
	2	1	1 (2-EK)	1,45	3,40	3×0,15=0,45	8,85
		2		0,45	3,10		
	3	1	1 (1-EK)	0,65	4,90	3×0,15=0,45	9,55
		2		0,55	3,00		

Çizelge 3.4. Devamı.

2	1	1	1 (1-EK)	2,60	3,60	3×0,15=0,45	10,75
		2		0,90	3,20		
	2	1	1 (1-EK)	1,50	3,40	3×0,15=0,45	10,25
		2		1,00	3,90		
	3	1	1 (1-EK)	1,60	4,05	4×0,15=0,60	14,40
		2		—	3,60		
		3		1,15	3,40		
	4	1	1 (1-EK)	2,00	3,30	4×0,15=0,60	14,30
		2		—	3,50		
		3		1,40	3,50		
3	1	1	2 (1 ve 4-EK)	0,30	4,30	5×0,15=0,75	17,00
		2		—	3,30		
		3		—	3,30		
		4		0,50	4,10		
	2	1	—	0,70	3,60	5×0,15=0,75	14,00
		2		—	2,90		
		3		—	2,90		
		4		0,55	2,60		
	3	1	1 (1-EK)	0,50	4,10	3×0,15=0,45	8,95
		2		0,50	3,40		
	4	1	1 (1-EK)	0,70	4,00	3×0,15=0,45	9,10
		2		0,65	3,30		

Çizelge 3.4. Devamı.

4	1	1	2 (1 ve 4 EK)	0,60	4,60	5×0,15=0,75	16,10
		2		—	2,90		
		3		—	2,85		
		4		0,55	3,85		
	2	1	—	0,60	3,10	5×0,15=0,75	14,80
		2		—	3,10		
		3		—	2,90		
		4		0,55	3,80		
	3	1	—	0,35	5,80	3×0,15=0,45	11,25
		2		0,35	4,30		
	4	1	—	0,40	2,80	3×0,15=0,45	6,75
		2		0,40	2,70		
5	1	1	1 (1-EK)	1,00	4,30	5×0,15=0,75	16,10
		2		—	3,10		
		3		—	2,80		
		4		0,95	3,20		
	2	1	—	0,80	3,55	5×0,15=0,75	15,00
		2		—	3,00		
		3		—	3,20		
		4		0,80	2,90		
	3	1	—	0,50	3,30	4×0,15=0,60	10,75
		2		—	2,90		
		3		0,45	3,00		
	4	1	1 (1-EK)	2,60	3,50	3×0,15=0,45	10,25
		2		0,40	3,25		

Çizelge 3.4. Devamı.

6	1	1	—	0,40	3,00	5×0,15=0,75	14,20
		2		—	3,20		
		3		—	3,25		
		4		0,40	3,20		
	2	1	—	0,35	3,25	5×0,15=0,75	14,45
		2		—	3,25		
		3		—	3,30		
		4		0,35	3,20		
	3	1	1(1-EK)	0,30	5,20	2×0,15=0,30	5,80
	4	1	—	0,45	4,00	3×0,15=0,45	8,40
		2		0,25	3,25		
7	1	1	1 (1-EK)	0,80	3,35	4×0,15=0,60	12,20
		2		—	3,30		
		3		0,80	3,35		
	2	1	—	0,90	4,60	4×0,15=0,60	13,70
		2		—	3,40		
		3		0,80	3,40		
	3	1	1 (1-EK)	0,60	6,60	3×0,15=0,45	12,10
		2		1,00	3,45		
	4	1	1 (1-EK)	0,50	5,25	3×0,15=0,45	10,50
		2		0,75	3,55		

Çizelge 3.4. Devamı.

8	1	1	—	0,10	4,50	$2 \times 0,15 = 0,30$	4,90
	2	1	—	0,40	3,60	$3 \times 0,15 = 0,45$	8,20
		2		0,40	3,35		
	3	1	—	0,90	3,00	$3 \times 0,15 = 0,45$	7,95
		2		0,70	2,90		
	4	1	1 (1-EK)	1,60	3,40	$3 \times 0,15 = 0,45$	9,55
		2		0,70	3,40		
9	1	1	—	2,60	4,25	$3 \times 0,15 = 0,45$	13,10
		2		1,55	4,25		
	2	1	—	2,90	4,80	$3 \times 0,15 = 0,45$	11,55
		2		0,20	3,20		
	3	1	—	1,90	1,60	$4 \times 0,15 = 0,60$	9,80
		2		—	3,20		
		3		0,10	2,40		
	4	1	—	1,30	3,35	$3 \times 0,15 = 0,45$	8,75
		2		0,75	2,90		

İncelenen kavşakların performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılacak analizlerde kullanılacak veriler, incelenen kavşaklar için en yoğun durumu göz önüne alarak analiz yapabilmek amacıyla hafta içi (Pazartesi ve Cuma günleri) zirve saatler olan sabah ve akşam saatlerinde (07:30-09:00 ve 17:30-19:00), her bir sinyalize kavşak için iki hafta (dört gün) olmak üzere toplam 36 gün boyunca video çekimler yapılarak elde edilmiştir. Kavşaklardan farklı zamanlarda veri elde edebilmek amacıyla çekimler incelenen dokuz farklı kavşakta iki tur olacak şekilde yapılmıştır. Bu çekimlerin yanı sıra incelenen kavşaklarda ihtiyaç olması durumunda kullanılmak üzere Antalya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Dairesi Başkanlığının elinde mevcut olan ve 2016 yılı Antalya Ulaşım Master Planının hazırlanmasına kullanılmak amacıyla yapılan kamera çekimlerinden elde edilen kayıtlar resmi izinle alınmıştır. Yapılan normal çekimler sonucu elde edilen verilere göre ilave veri gereken kavşak kolları için buradan alınan gözlem verilerinden yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan video çekimleri ile birlikte dört farklı mevsimlerdeki taşıt yoğunluklarını ve sürücü davranışlarını kapsayan geniş bir veri imkânına sahip olunmuştur. Bu çalışmada sahadan video çekimler yapılarak verilerin toplanması amacıyla hem normal kamera

hem de 360 derece açı ile çekim yapabilen kamera sistemi birlikte kullanılmıştır. Çünkü mevcut normal kameralarla bir kavşağın tüm kollarını görmek mümkün değildir. Bu yüzden aynı anda birden çok kamera kullanmak gerekmektedir. Bu kameralardan biri ya da birkaçı arızalandığı zaman aynı anda tüm kavşaktaki mevcut durumu incelemek mümkün olamamakta ve yeniden çekim yapma ihtiyacı doğmaktadır. Hâlbuki 360 derece kamera sistemi sayesinde sadece kavşak ortasına yerleştirilecek birbiri ile bağlantılı iki kamera ile kavşağın her bir kolunu aynı anda görüntülemek mümkün olacaktır. Ayrıca bu kameralardaki anlık görüntüler kendi sisteminde barındırdığı wi-fi özelliği ile cep telefonu ya da tablete indirilen mobil uygulama ile canlı takip edilebilmekte ve sistemin çalışıp çalışmadığı anlık olarak kontrol edilebilmektedir. Ayrıca wi-fi özelliği ile cihazların kalan şarj miktarları anlık olarak görüntülenebilmekte ve bu şekilde çekim yapamama durumu ortadan kalkmaktadır. Bu çalışma kapsamında yukarıda detaylı olarak anlatılan bu önlemler ile kameralardan kaynaklı hata ile veri kaybının tamamen önüne geçilmiştir. Bu tür çalışmalarda araştırmacıların sahada karşılaştıkları en önemli problemlerden bir diğeri de çekim için uygun yüksek (tepe, bina vb.) bir yer bulmaktır. İncelenen alan şehiriçi olduğu için binaların çatıları kullanılabilir. Fakat burada temel sorun binaların çatılarından çekim yapabilmek için her bir çekimden önce izin alınması gerekliliğidir. Bu izinleri almak oldukça güvenlik sebeplerinden dolayı oldukça zor olduğu için çalışmada bu soruna çözüm bulmak amacıyla kamera sistemlerinin üzerine yerleştirileceği ve tripotların yerini alan yeni kamera taşıma aparatları tasarlanarak imal edilmiş ve kullanılmıştır. Geliştirilen bu aparat sistemi için birer metrelik birbirine geçme özelliğine sahip demir aparatlar hazırlanmış ve bu aparatlar birbirlerine monte edilerek istenilen yükseklikte çekim yapma imkânı kazanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ise 5 m yüksekliğin çekimler için yeterli olduğu yani her bir kavşak kolundaki kuyruk sonunu görmek için yeterli yükseklik olduğu belirlenmiş ve çekimler bu yükseklik dikkate alınarak yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. İncelenen kavşaklardan video kamera sistemleri yardımıyla verilerin toplanması.

Arazi gözlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmış ve sayaç programları yardımıyla analizlerde kullanılmak üzere sayısal verilere dönüştürülmüştür. Verilerin sayısal hale dönüştürülmesi aşamasında kavşak kollarındaki problemleri tanısal bazlı olarak analiz edebilmek amacıyla düz gidiş, sola dönüş ve sağa dönüş şeritleri ayrı ayrı incelenmiştir. Yani özetle her bir kavşak kolundaki şeritler birbirlerinden bağımsız olarak incelenmiştir. Yapılan video kamera çekimleri ve arazi gözlemlerinden, analizlerde kullanılmak üzere öncelikle her bir kavşak kolu için aşağıdaki veriler şerit bazlı incelemeler ile elde edilmiştir:

- i) Devre süresi ve faz süreleri (sn),
- ii) Yeşil süre başlangıcı ve sonundaki kuyruk uzunlukları (taşıt),
- iii) Şerit genişlikleri/sayısı,
- iv) Ek şerit oluşumu ve ek şeridi kullanan taşıt sayıları,
- v) Trafik hacmi (taşıt/saat),
- vi) Başlangıç ve son kayıp zamanlar (sn),
- vii) Ağır araç oranı (P_{HV}),
- viii) Toplam taşıt sayısı ve türü,
- ix) Yeşil sürede geçen taşıt sayısı,
- x) Rastgele seçilen taşıtlar için kontrol gecikme değerleri (sn).
- xi) Taşıtların yeşil sürede dur çizgisinden geçişleri ölçülerek hesaplanan taşıtlar arasındaki zaman cinsinden mesafeler (sn)
- xii) Her bir kavşak kolu için toplam analiz süresi (saat)

Video kamera ile yapılan çekimler ile analizlerde kullanmak üzere özetle:

- i) 8 sinyalizasyon ve 1 adet sinyalizasyon olmayan yani toplam 9 kavşak,
- ii) Bu kavşaklara ait toplam 35 kol ve bu kollardaki 89 normal şerit ve 19 illegal ek şerit,
- iii) Yaklaşık 100 saatlik video kamera kaydı,
- iv) Sinyalizasyon kavşaklarda 59360 ve sinyalizasyon olmayan kavşakta kavşağın eski (dört kollu) ve yeni hali (dönel) için $800+800=1600$ taşıt olmak üzere toplam 60960 taşıt hareketi teker teker incelenmiş ve analizlerde kullanılmıştır.

3.3. İncelenen Kavşakların Mevcut Performanslarının Belirlenmesi

Araziden video kameralar yardımıyla toplanan ve sonrasında bilgisayar ortamına aktarılarak sayısal forma dönüştürülen veriler kullanılarak, aşağıda detaylı olarak açıklanan performans ölçüm yöntemleri ile kavşakların mevcut performans hesaplamaları yapılmıştır.

3.3.1. Kavşak kollarındaki doymuş akım oranının hesaplanması

Doymuş akım oranı her bir şeritteki taşıtların sinyalizasyon kavşağı direk olarak geçebildiği şerit başına akım oranıdır. HCM (2010)'a göre doymuş akım, bir kavşakta bir saat boyunca yeşil ışık yanmasıyla birlikte hiç durmadan sürekli olarak geçebilecek ara taşıt sayısını ifade etmektedir. Bu oran Denklem 3.1'de verilen bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$s = \frac{3600}{h} \quad (3.1)$$

Burada;

s : Doygun akım oranı (taşıt/saat),

h : Doygun takip mesafesi (saniye).

Bu çalışma kapsamında doygun akım oranını belirleyebilmek amacıyla öncelikle sinyalizasyon kavşak kollarındaki takip aralıkları belirlenmiş ve sonrasında her bir şerit için doygun akım oranı değerleri hesaplanarak, ek şerit oluşumunun doygun akım oranı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu hesaplama sırasında düz giden, sola ve sağa dönen taşıtların doygun akım oranı değerleri ayrı ayrı analiz edilmiştir. HCM (2010)'a göre doygun akım oranı yeşil ışığın yanmasından 10 ila 14 saniye sonra maksimum değerine ulaşmaktadır. Bu da yaklaşık olarak kuyruktaki dördüncü ila altıncı araca karşılık gelmektedir. Bonneson (2003)'e göre ise minimum boşalım süresi sekizinci araca kadar oluşmasa da boşalım süreleri beşinci taşıttan sonra tutarlı ve düzenlidir. Yine Bonneson (2003)'e göre maksimum boşalım akım oranını ölçmek için kuyruktaki sekiz ila on taşıttan sonrasını ölçmek gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında ise doygun akım hesaplamalarında HCM (2010) tarafından önerilen kuyruktaki beşinci taşıt ve sonrası kullanılmıştır. Ayrıca doygun akım oranı hesaplanırken kavşaktan geçen tüm taşıt türlerinin etkisini irdeleyebilmek amacıyla kavşak kollarından geçen tüm taşıt türleri ayrı ayrı incelenmiş ve hesaplamalara dahil edilmiştir.

Seçilen HCM (2010) yöntemine göre bu çalışma için doygun akım takip mesafeleri, ilk dört aracın dur çizgisinden geçtikten sonra kuyruktaki son aracın dur çizgisinden geçmesine kadar geçen sürenin toplam taşıt sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu geçiş sırasında doygun akım oranını etkileyici herhangi bir sorun var ise (beklenmeyen sürücü davranışı, otobüs ve yaya aktivitesi vb.) bu durum analizlere dâhil edilmemiştir. Eğer gözlem esnasında doygun akım oranını etkileyen çok fazla faktör var ise HCM ve diğer çalışmalar tarafından önerilen doygun akım düzeltme faktörü uygulanarak hesap yapılabilmektedir. HCM (2010)'da bu faktörler aşağıda verilen şekilde özetlenmiştir.

- i) Ek şerit oluşumu,
- ii) Kurp varlığı,
- iii) Kavşağa yakın kesimlerde otobüs durağının varlığı,
- iv) Kavşak kollarındaki boyuna eğimin %2'den büyük olması,
- v) Uygun olmayan yatay geometri (keskin dönüş olması),
- vi) Ağır taşıt yoğunluğunun çok fazla olması,
- vii) Yolun bulunduğu bölgenin karakteristik özellikleri,
- viii) Kavşakta yaya bisiklet ve motosiklet karmaşasının ihmal edilebilir seviyede olmaması.

İncelenen kavşaklarda yukarıda belirtilen durumların hepsinin birlikte gözlemlenmediği ve şerit bazlı tanısal analiz yapıldığı için Denklem 3.2'de verilen düzeltmeye gerek duyulmamış ve her bir şeritteki doygun akım değeri Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} f_v \quad (3.2)$$

Burada;

- s : Düzeltilmiş doygun akım oranı (taşıt/saat),
 s_0 : Standart doygun akım oranı (1900 taşıt/saat/şerit),
 N : Koldaki şerit sayısı,
 f_w : Şerit genişliği düzeltme faktörü,
 f_{HV} : Ağır araç düzeltme faktörü,
 f_g : Kol eğimi düzeltme faktörü,
 f_p : Park şeridi ve parklanma aktivitesi düzeltme faktörü,
 f_{bb} : Otobüs durma etkisi düzeltme faktörü,
 f_a : Alan tipi için düzeltme faktörü,
 f_{LT} : Sola dönen taşıt varlığı için düzeltme faktörü,
 f_{RT} : Sağa dönen taşıt varlığı için düzeltme faktörü,
 f_{Lpb} : Sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü,
 f_{Rpb} : Sağa dönüşler için yaya-bisiklet düzeltme faktörü,
 f_{LU} : Şerit kullanımı için düzeltme faktörü,
 f_v : Trafik basıncı için düzeltme faktörüdür.

3.3.2. Kavşak kollarındaki kapasitenin hesaplanması

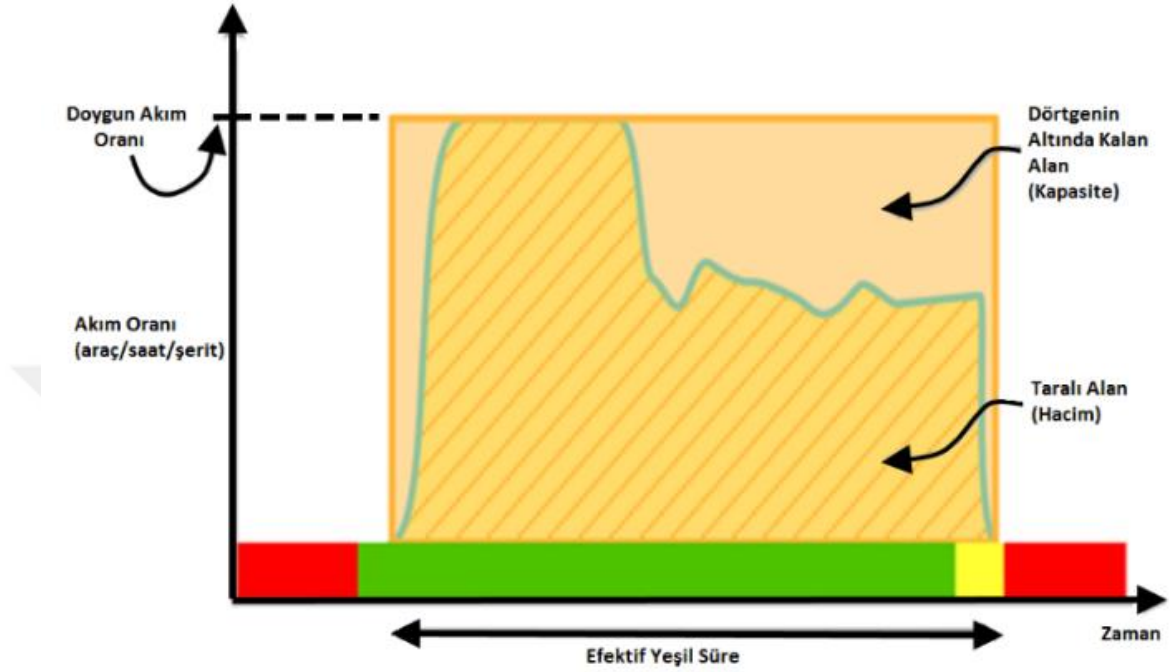
Kavşağın performansı hakkında bilgi veren önemli bir göstergedir. Bu çalışmada sinyalize bir kavşakta kollardaki her bir şerit için kapasite, aşağıda verilen Denklem 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır. İstenildiği takdirde elde edilen veriler yardımıyla Şekil 3.14'e benzer bir grafik hazırlanarak doygun akım oranı ve efektif yeşil sürenin birbiriyle çarpılmasıyla elde edilen alan yardımıyla kapasite; eğrinin altında kalan alan yardımıyla da hacim hesaplanabilmektedir.

$$c = \sum s \frac{g}{C} \quad (3.3)$$

Burada;

- c : Kapasite (taşıt/saat),

- s : Doygun akım oranı,
 g : Efektif yeşil süre (sn),
 C : Devre süresidir (sn).



Şekil 3.14. Sinyalize kavşak kolunda hacim ve kapasite değerlerinin şekil üzerinde gösterimi (FHWA 2014).

Efektif yeşil süre Denklem 3.4 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$g = G + Y + R - (l_1 + l_2) \quad (3.4)$$

Burada;

- g : Efektif yeşil süre,
 G : Gerçek yeşil süre,
 Y : Gerçek sarı süre (2 sn),
 R : Gerçek ortak kırmızı süre (2 sn),
 l_1 : Başlangıç kayıp süre (2 sn),
 l_2 : Son kayıp süre (2 sn).

Bu çalışmada ortalama başlangıç ve son kayıp zamanlar HCM (2010)'da detaylı olarak açıklanan yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemle göre ortalama başlangıç kayıp süre hesabı, bir kavşak kolundaki ilk birkaç aracın doymuş aralığa ulaşmaya

kadar kaybettikleri zaman cinsinden takip aralığının ortlaması alınarak hesaplanmıştır. Son kayıp zaman ise sinyal fazının yeşilden kırmızıya dönmesi durumu için her bir fazdaki son araç duruncaya kadar geçen sürenin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada kayıp süreler gözlem verilerden elde edildiği için Denklem 3.4'te kullanılmak üzere önerilen standart 2 saniye yerine araziden elde edilen gerçek değerler kullanılmıştır.

3.3.3. Hacim/Kapasite (v/c) oranının hesaplanması

Hacim/ Kapasite (v/c) oranı bir diğer ifade ile doygunluk derecesi kavşağın performansı hakkında bilgi veren önemli bir göstergedir. Bu çalışmada Denklem 3.5 yardımıyla elde edilen v/c oranları için Çizelge 3.5 kullanılarak her bir şeridin, kavşak kolunun ve kavşağın performansları belirlenmiştir.

$$X = \frac{v}{c} = \frac{v}{s \frac{g}{C}} = \frac{vC}{sg} \quad (3.5)$$

Burada;

X : Herhangi bir kavşak kolundaki (v/c) oranı,

v : Herhangi bir kavşak kolundaki hacim (taşıt/saat),

s : Herhangi bir kavşak kolundaki doygun akım oranı (taşıt/saat),

g : Herhangi bir kavşak kolundaki efektif yeşil süre (saniye),

C : Devre süresi (saniye).

Çizelge 3.5. Hacim/Kapasite (v/c) oranına ait sınır değerler (HCM 2010).

Kritik Hacim/Kapasite Oranı	Durum
<0,85	Kavşak kapasitenin altında çalışmaktadır. Aşırı gecikmeler gözlemlenmemektedir.
0,85-0,95	Kavşak kapasiteye yakın çalışmaktadır. Belki yüksek gecikmeler gözlemlenebilir fakat düzenli olarak kuyruk artışı gözlemlenmez.
0,95-1,00	Düzensiz trafik akımları uzun gecikmelere sebep olur. Aşırı gecikmeleri engellemek için iyileştirme yapmak zorunludur.
>1,00	Talep mevcut kapasiteyi aşmaktadır. Aşırı gecikmeler ve kuyruklar beklenmektedir.

Sinyalize kavşakların performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer v/c oranı da kritik v/c oranı (X_c)'dir. Bu oran Denklem 3.6 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$X_c = \left(\frac{C}{C-L} \right) \sum_{i \in ci} y_{c,i} \quad (3.6)$$

Burada;

X_c : Kavşak için kritik (v/c) oranı,

v : Herhangi bir kavşak kolundaki hacim (taşıt/saat),

C : Devre süresi (saniye),

$y_{c,i}$: Faz i için kritik akım oranı (taşıt/saat),

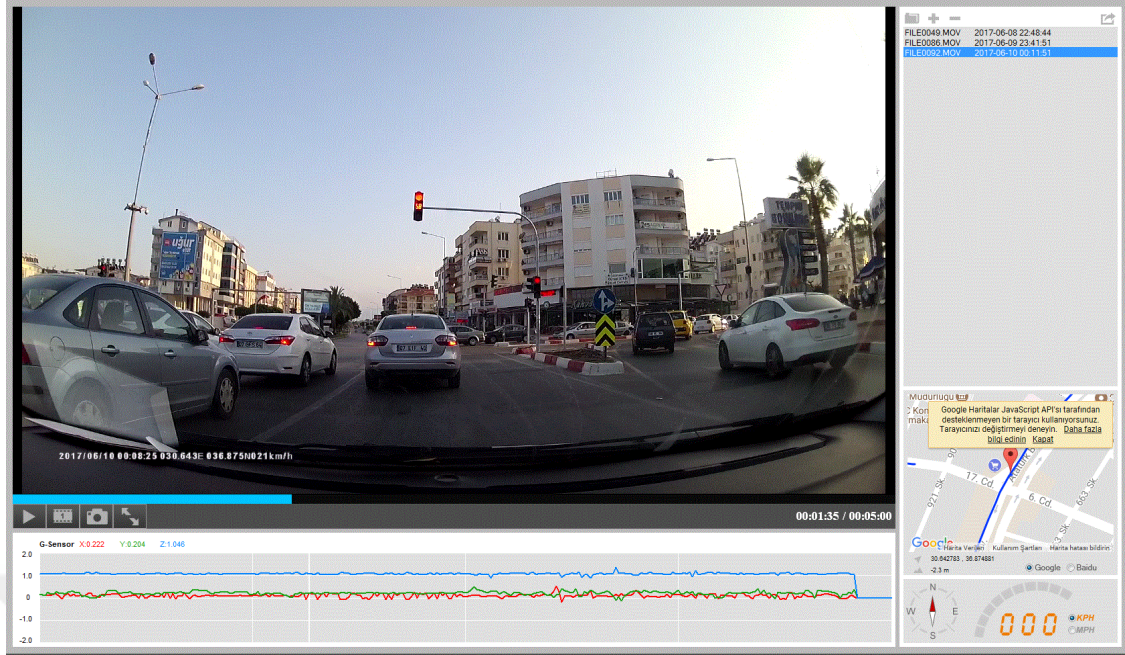
L : Devre süresindeki toplam kayıp zaman(sn) ($L = \sum_{i \in ci} l_{t,i}$),

g : Herhangi bir kavşak kolundaki efektif yeşil süre (saniye),

ci : Kritik koldaki kritik faz değeridir.

3.3.4. Gecikmenin belirlenmesi

Çalışma kapsamında incelenen kavşaklardaki kontrol gecikmesi (aracın kavşak öncesi yavaşlaması + ışıқта beklemesi + yeşil ışık sonrası tekrar hızlanması) Şekil 3.12 c’de görüldüğü gibi “Floating car” yani “Gezgin Araç” tekniği ile her bir kol için minimum 25 araç geçişi ve her bir kol için sahadan rastgele seçilen minimum 100 taşıtın kontrol gecikmesi değerlerinin ortalaması alınarak gecikme analizlerinde kullanılmıştır (Kebab vd. 2007). Uygulanan gezgin araç yöntemine göre araç içerisine yerleştirilen kameradaki süreler ve cihazın GPS özelliği sayesinde gözlem aracının kavşak kollarından rastgele geçişine ait konum bilgileri kullanılarak, hem yolculuk süreleri hem de kontrol gecikmelerine ait verileri elde edilmiş ve analizlerde kullanılmıştır (Şekil 3.15). Kontrol gecikmelerinin hesaplanması sırasında gezgin araç ve kamera kayıtları kullanılarak yapılacak hesaplamalar arasındaki trafik akım farklılığını ortadan kaldırmak için her iki yöntem içinde analizler aynı gün ve saatler için yapılmıştır. Bu amaçla rastgele araç seçilerek yapılacak ortalama gecikme hesabı için kamera ile çekim yapılırken aynı anda gezgin araç ile de kavşak kolları arasında geçişler yapılmıştır. Her bir kavşak kolunda hem kamera kaydı hem de gezgin araç yöntemi ile gecikme hesabı yaparken incelenen kollarddaki tüm şeritlerde (şeritler arası farklılıkların önüne geçmek için) taşıt geçişleri dikkate alınmış ve taşıtların bu şeritlerde hem kuyruğun başında hem ortasında hem de sonunda bulunma durumları dikkate alınmış ve bu kombinasyonlar sonucu elde edilen gecikmelerin ortalaması alınarak incelenen kol için taşıt başına ortalama bir gecikme değeri hesaplanmıştır.



Şekil 3.15. GPS özelliği bulunan araç kamerası yardımıyla kavşak kollarındaki taşıt başına ortalama gecikmelerin belirlenmesi.

3.3.5. Kavşakların hizmet seviyelerinin belirlenmesi

Kavşakların hizmet seviyeleri kavşaklardaki ortalama kontrol gecikmesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yani ortalama kontrol gecikme değeri (D), incelenen her bir kavşak için hizmet seviyesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen tüm sinyalize kavşakların hizmet seviyeleri HCM (2010) tarafından önerilen Çizelge 3.6 yardımıyla belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. HCM (2010)'a göre kavşakların hizmet seviyelerinin belirlenmesi.

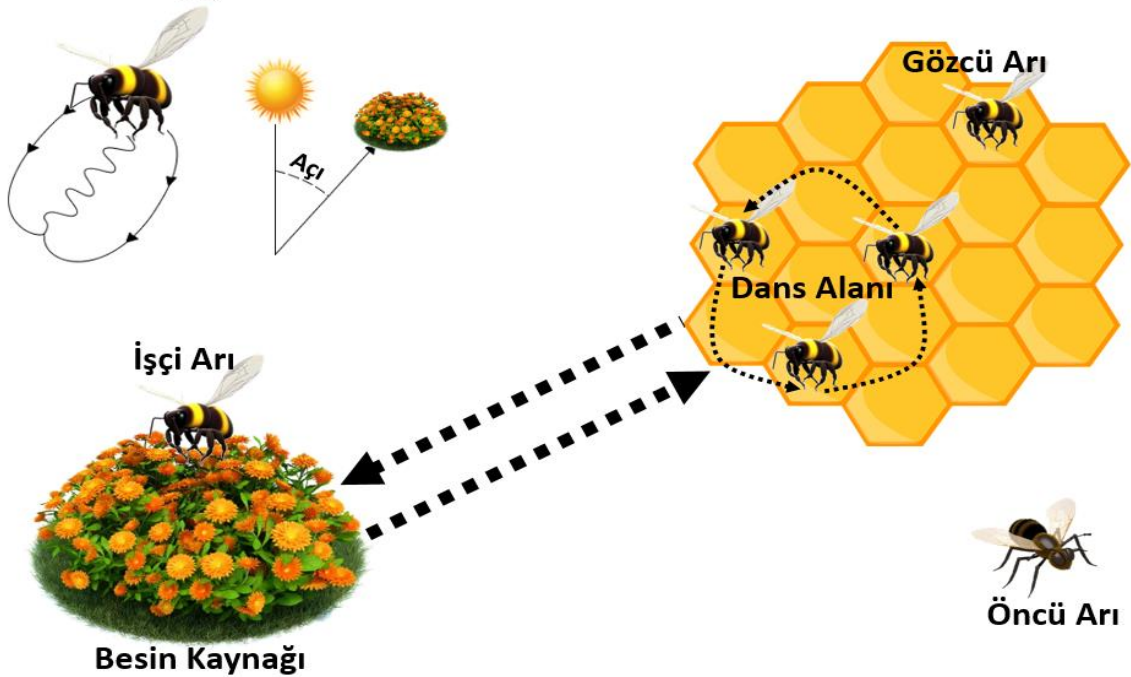
Kontrol Gecikmesi (saniye/taşıt)	Hacim-Kapasite oranına Hizmet Seviyesi (LOS)	
	$\leq 1,0$	$\geq 1,0$
<10	A	F
>10-20	B	F
>20-35	C	F
>35-55	D	F
>55-80	E	F
>80	F	F

3.4. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon Yöntemi

Yapay arı kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemi 2005 yılında geliştirilen meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerinden birisidir (Karaboğa 2005; Karaboğa ve Baştürk 2007). Bu yöntemin temel çalışma prensibi, bal arısı topluluklarının karakteristik davranışlarına dayanmaktadır. YAK yöntemine göre arılar üç farklı grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar işçi arılar, gözcü arılar ve keşifçi arılardır (Aydoğdu vd. 2016; Gökkuş vd. 2017). İşçi arılar yiyecek kaynaklarına giderek yiyecekleri toplamakta; yuvaya döndükten sonra “waggle” dansı denilen hareketler yaparak yiyecek kaynaklarının yeri ve içindeki yiyecek miktarları ile ilgili bilgileri gözcü arılara aktarmaktadırlar. Gözcü arılar, işçi arılardan aldıkları bilgileri değerlendirerek hangi yiyecek kaynağına gidilmesi konusunda karar vermektedirler. Keşifçi arılar ise herhangi bir yiyecek kaynağının tükenmesi durumunda yeni yiyecek kaynakların bulunması amacıyla çevreyi arayarak yeni yiyecek kaynakları bulmaya çalışmaktadırlar (Şekil 3.16). Geliştirilen YAK optimizasyon yönteminin temel çalışma prensibi aşağıda verilen şekildedir (Karaboğa ve Baştürk 2007).

- i) Her bir arı tek bir yiyecek kaynağından besin almaktadır. Bu yüzden toplam yiyecek kaynağı sayısı ile toplam işçi arı ve gözcü arı sayıları birbirine eşit olmaktadır.
- ii) Yiyecek kaynağı tükendiği zaman işçi arının keşifçi arıya dönüştüğü; keşifçi arının ise yeni bir yiyecek kaynağı bulduğu zaman ise işçi arıya dönüştüğü kabul edilir.
- iii) Birçok meta-sezgisel yöntemlerinde olduğu gibi YAK optimizasyon yöntemi de başlangıç yiyecek konumları rasgele arama ile belirlenmektedir.

Arıların Waggle Dans Hareketi



Şekil 3.16. Yapay arı kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemine göre arıların çalışma prensibi.

YAK optimizasyon yöntemi temel olarak dört aşamadan oluşmaktadır (Aydoğdu vd. 2016). Bu aşamalar: Başlangıç fazı, işçi arılar fazı, gözcü arılar fazı ve keşifçi arılar fazıdır. Bu aşamalar $Min. z = f(x)$ optimizasyon problemi ile özetlenebilmektedir. Burada x , n tasarım değişkeninin vektörüdür.

1. Başlangıç fazı: Rastgele nesil kullanarak popülasyonun, $x_p, p = 1, \dots, np$ besin kaynaklarının tüm vektörlerinin başlatılmasıdır (Baştürk ve Karaboğa 2006). Burada np toplam popülasyon büyüklüğüdür (yapay arıların toplam sayısı). Her bir besin kaynağı n değişken için bir çözüm vektörüdür. ($x_{pi}, i = 1, \dots, n$) ve optimizasyon probleminin potansiyel bir çözümüdür.

$$x_{pi} = x_{ij} + r(0, 1) \cdot (x_{ui} - x_{li}) \quad (3.7)$$

Burada;

x_{li} ve x_{ui} : x_i ve r üzerindeki üst ve alt sınırlardır (R). $(0, 1)$ ise 0 ile 1 arasında üretilen rastgele değerlerdir.

2. İşçi arılar fazı: İşçi arılar yeni besin kaynaklarını aşağıda verilen şekilde aramaktadırlar.

$$x_{pi} = x_{pi} + \varphi_{pi}(x_{pi} - x_{ki}) \quad (3.8)$$

Burada;

$k \neq i$: Rastgele seçilen besin kaynağı,

φ_{pi} : $[-1, 1]$ arasında üretilen rastgele bir sayıdır. Yeni besin kaynağı (çözüm vektörü) ürettikten sonra uygunluğu hesaplanmaktadır. Eğer uygunluğu x_{pi} 'den daha iyiye yeni besin kaynağı eskisi ile yer değiştirmektedir. Besin kaynaklarının uygunluk değeri aşağıda verilen şekilde hesaplanmaktadır:

$$Uygunluk(x_p) = \begin{cases} \frac{1}{1 + f(x_p)} & \text{Eğer } f(x_p) \geq 0 \\ 1 + |f(x_{pi})| & \text{Eğer } f(x_p) < 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

Burada;

$f(x_p)$: Besin kaynağı x_p 'nin amaç fonksiyonudur.

3. Gözcü arılar fazı: İşçi olmayan arılar gözcü ve keşifçi arılar olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. İşçi arılar besin kaynağı bilgisini gözcü arılar ile paylaşmaktadırlar. Gözcü arılar popülasyondaki her bir besin kaynağının uygunluk değerleri kullanılarak hesaplanan olasılık değerine (P_p) göre en uygun besin kaynağını seçmektedirler (Denklem 3.10).

$$P_p = \frac{Uygunluk(x_p)}{\sum_{p=1}^{np} Uygunluk(x_p)} \quad (3.10)$$

Gözcü arı tarafından olasılıksal olarak bir besin kaynağı x_{pi} seçildikten sonra, komşu besin kaynağı Denklem 3.8 ile belirleyip besin kaynağının uygunluk değeri ise Denklem 3.9 yardımıyla hesaplanmaktadır.

4. Keşifçi arılar fazı: Kendi besin kaynağını seçen ve işçi olmayan arılar keşifçi arılar olarak tanımlanmaktadır. Keşifçi arılar ve çözümlemelerinin ihmal edilmesi durumunda işçi arıların besin kaynağı çözümlemeleri belirli bir deneme sayısından sonra iyileşme görülmemektedir. Bu durum sonucu keşifçi arılar yeni çözümler için rastgele araştırmalara başlamaktadırlar.

Bu bölümde sadece Yapaya Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon yönteminin temel özellikleri anlatılmıştır. YAK optimizasyon yönteminin seçilen problemin çözümünde nasıl kullanıldığına dair detaylı bilgi Bölüm 4.4'te detaylı olarak verilmektedir.

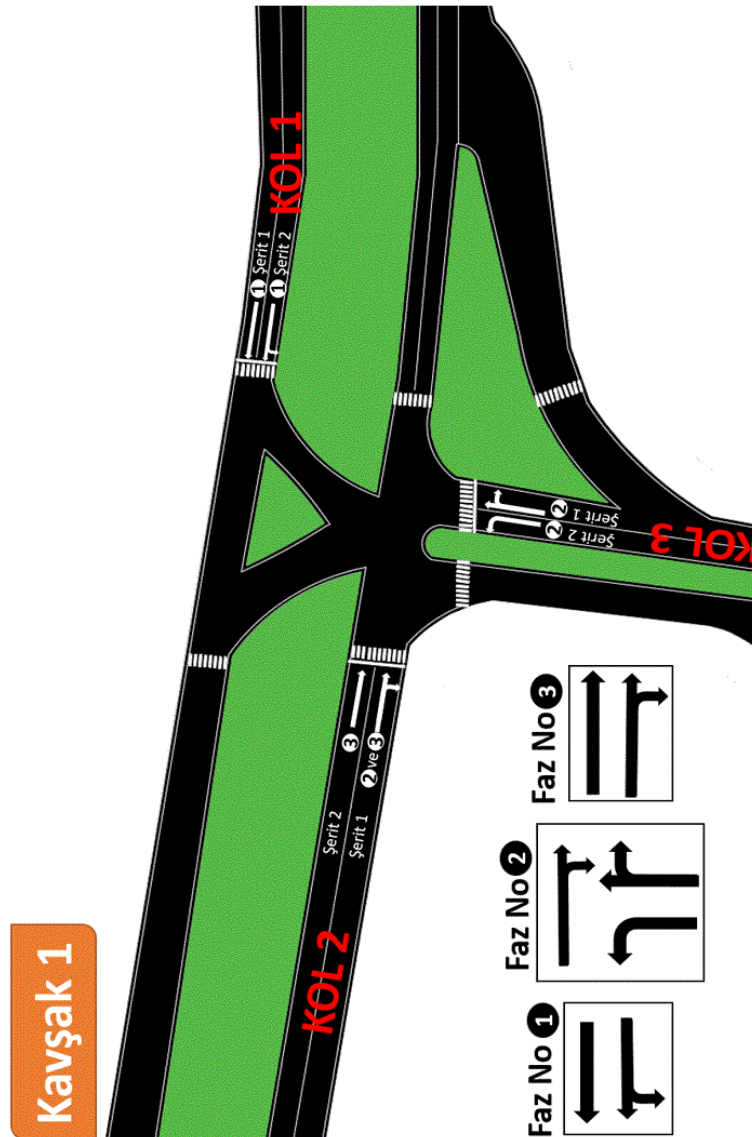
4. BULGULAR

4.1. İncelenen Kavşakların Mevcut Performanslarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında araştırılması hedeflenen ana amaçlardan birisi de sinyalize kavşak kollarının mevcut durumunu inceleyerek bu kavşakların mevcut performansları hakkında genel bir yargıya varabilmektir. Daha öncede belirtildiği üzere kavşak kollarının geometrik özellikleri mevcut performansların belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Çünkü sinyalize kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri kolların incelenmesi ile elde edilmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında incelenen tüm sinyalize dönel (2 ve 7 numaralı) kavşaklarda yalnız kavşak yaklaşım kolları incelenmiş; kol önleri ve ada etrafı analizlerde değerlendirmeye alınmamıştır. Çalışma da dikkat çekilmesi gereken bir diğer önemli husus ise analizlerde kavşakların mevcut sinyal planlarının ve sinyal sürelerinin araziden ölçülen değerlerin kullanılmasıdır. Yani özetle çalışmada kavşaklardaki mevcut sinyal süreleri kullanılmış olup, sinyal planlarını değiştirme ya da optimize etme ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Çünkü tezin amaç bölümünde de değinildiği üzere bu çalışma da yalnız kavşaklardaki geometrik disiplinsizlik incelenmiş; sinyalizasyon analizleri değerlendirilmemiştir.

Bir önceki bölümde verilen yöntemler kullanılarak yapılan analizler kapsamında, incelenen her bir sinyalize kavşaktaki trafik akımı ve sinyal sürelerinin karakteristik özellikleri ile kavşakların mevcut performansları belirlenmiş; elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1-4.16'da detaylı olarak özetlenmiştir. İncelenen bu sinyalize kavşaklara ait faz planları ve sinyal süreleri ise 4.1-4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.1-4.16'da özetlenen performans sonuçları detaylı olarak incelendiğinde, çalışmanın yapıldığı sinyalize kavşakların mevcut işletim performanslarının oldukça kötü olduğu görülmektedir. Özellikle kavşak kollarındaki hizmet seviyeleri (LOS) şerit bazlı incelendiğinde, kavşakların mevcut (geometrik disiplinsizlik ve ek şerit oluşumu görülen) durumuna göre 7 numaralı kavşağın D hizmet seviyesine, 1 numaralı kavşağın E hizmet seviyesine ve geriye kalan diğer tüm sinyalize kavşakların ise en kötü hizmet seviyesi olan F hizmet seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir. Kavşaklarda gözlemlenen bu düşük hizmet seviyeleri üzerindeki temel faktör sinyal sürelerindeki tasarım hatasıdır. Çizelge 4.1-4.16'da verildiği üzere kavşak kollarındaki faz ve dolayısıyla kavşakların devre süreleri oldukça yüksektir. İncelenen bu bazı kavşak kollarında düşük doygunluk dereceleri (v/c) gözlemlensede, yüksek faz süreleri olduğu için HCM 2010'a düşük hizmet sınıfları elde edilmektedir. Özetle elde edilen tüm bu sonuçlar kavşaklardaki hatalı sinyal tasarımı ve mevcut şerit genişliklerinin fazla olmasının, geniş ve düzensiz yanal açıklıklar ile illegal ek şerit oluşumlarının görülmesinin, mevcut işletim performanslarını arttırmak yerine daha da kötüleştirdiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla elde edilen bu performans sonuçları, incelenen sinyalize kavşaklarda bu çalışma kapsamında önerilen geometrik iyileştirmelerin gerekli olduğunu destekler niteliktedir.



Şekil 4.1. Kavşak 1'e ait faz planı.



Not: SD, sağa dönüş fazını ifade etmektedir.

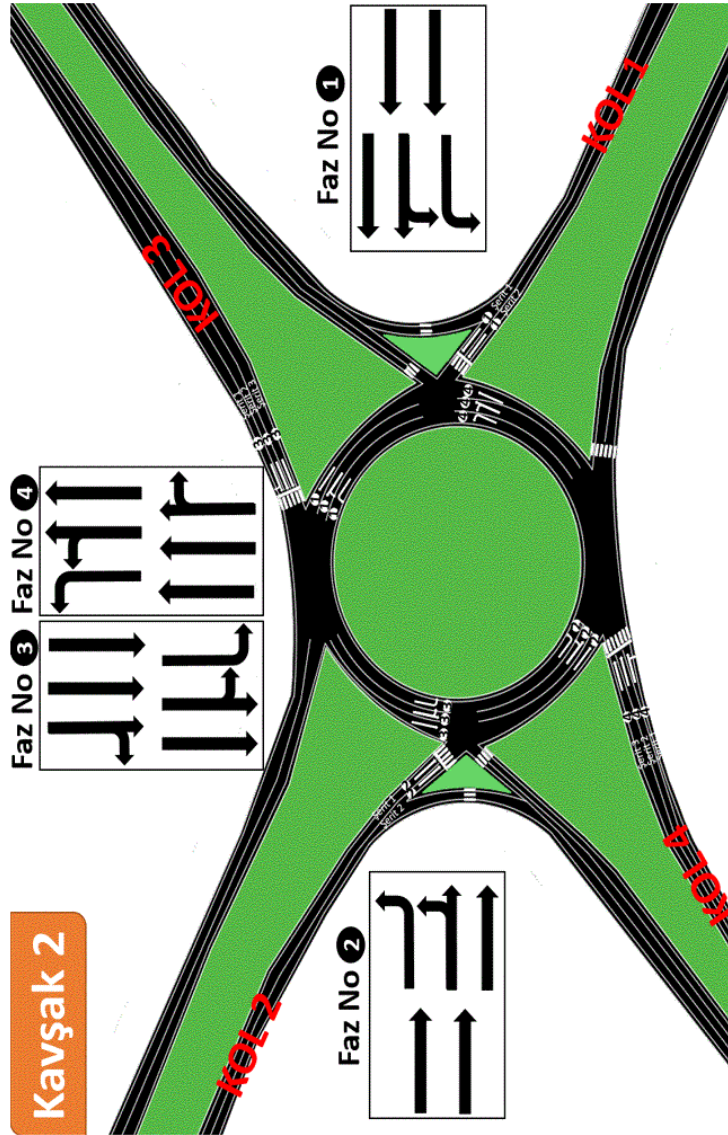
Şekil 4.2. Kavşak 1'e ait sinyal planı.

Çizelge 4.1. Kavşak 1 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

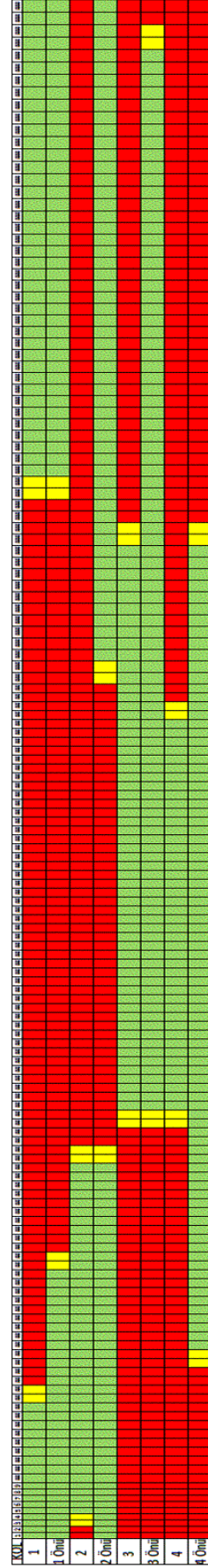
Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (taşıt/saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	2,5	1440	0,8	1,42	2,00	3,42	30	30,6	93
	2	3,1	1161	2,4	1,42	1,99	3,41		30,6	
2	1	2,2	1636	21,1	2,78	1,54	4,22	15	14,8	
	2	2,2	1636	5,1	2,22	1,92	4,14		14,9	
	2-EK	3,3	1091	9,6	3,26	1,95	5,21		13,8	
	1	3,2	1125	4,2	1,96	2,00	3,96		30,0	
3	1-EK	3,0	1200	4,2	6,35	2,00	8,35	30	25,6	
	2	2,8	1286	1,5	2,53	2,00	4,53		29,5	

Çizelge 4.2. Kavşak 1 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıt Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıt Oranı	Kapasite (Taşıt/Saat)	Hacim Taşıt/Saat)	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıt)	Hizmet Seviyesi (LOS)
1	1	9	4	15	6	0,34	474	350	0,74	0,70	92,1	F
	2	10	6	14	6	0,39	382	380	0,99		108,2	F
2	1	7	3	10	4	0,18	260	190	0,73		74,1	E
	2	8	2	8	4	0,20	262	193	0,74		74,6	E
	2-EK	2	2	5	3	0,61	162	101	0,62		72,1	E
	1	6	3	11	5	0,29	363	273	0,75		69,9	E
3	1-EK	1	2	12	5	0,12	330	148	0,45		70,4	E
	2	6	2	13	5	0,36	408	303	0,74		65,8	E



Şekil 4.3. Kavşak 2'ye ait faz planı.



Şekil 4.4. Kavşak 2'ye ait sinyal planı.

Çizelge 4.3. Kavşak 2 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (Taşıt/Saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	2,2	1636	4,7	1,90	1,70	3,60	58	58,4	157
	1-EK	2,6	1385	6,2	1,34	2,00	3,34		58,7	
	2	1,9	1895	1,6	1,41	1,70	3,11		58,9	
2	1	2,0	1800	11,6	2,30	1,50	3,80	41	41,2	
	1-EK	3,1	1161	12,9	2,90	1,10	4,00		40,2	
	2	2,0	1800	3,4	1,19	1,60	2,79		42,1	
3	1	1,9	1895	5,0	1,85	1,20	3,05	60	61,0	
	1-EK	4,7	766	1,7	1,90	1,90	3,80		49,2	
	2	1,9	1895	3,8	2,05	1,00	3,05		60,9	
	3	1,9	1895	1,9	1,23	1,30	2,53		61,5	

Çizelge 4.3. Devamı.

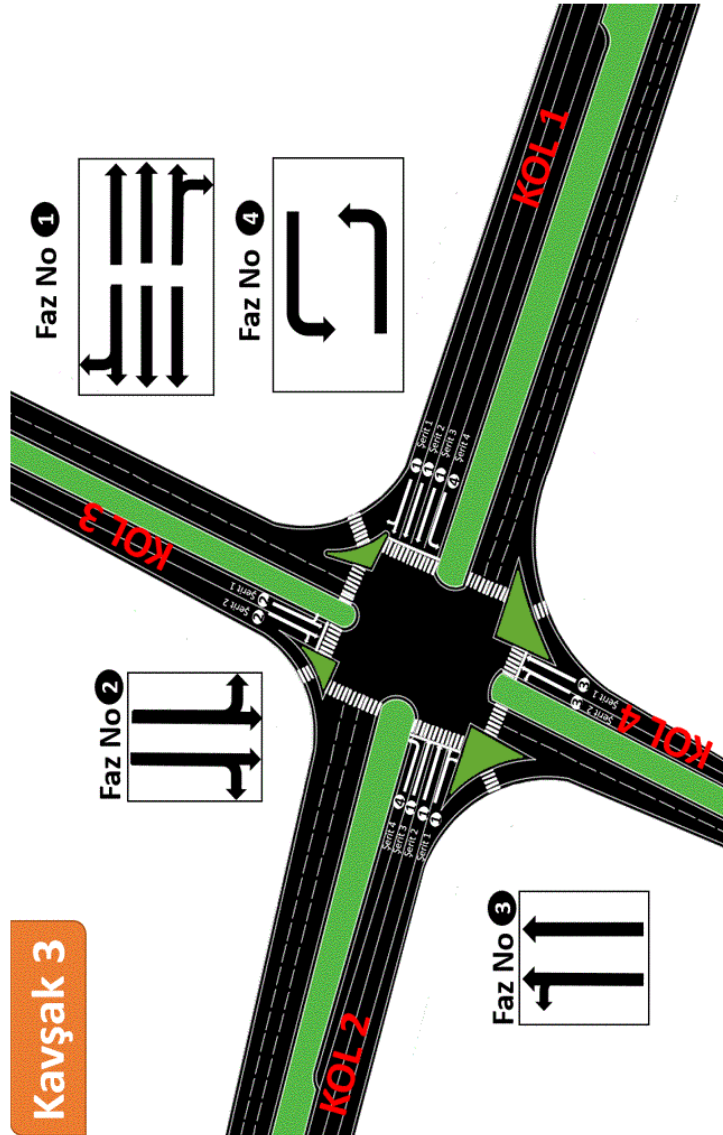
4	1	2,2	1636	2,4	2,97	1,50	4,47	44	43,5	
	1-EK	2,3	1565	0,8	3,30	2,00	5,30		42,7	
	2	2,2	1636	4,2	2,21	1,80	4,01		44,0	
	3	2,4	1500	3,7	1,16	1,80	2,96		45,0	

Çizelge 4.4. Kavşak 2 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

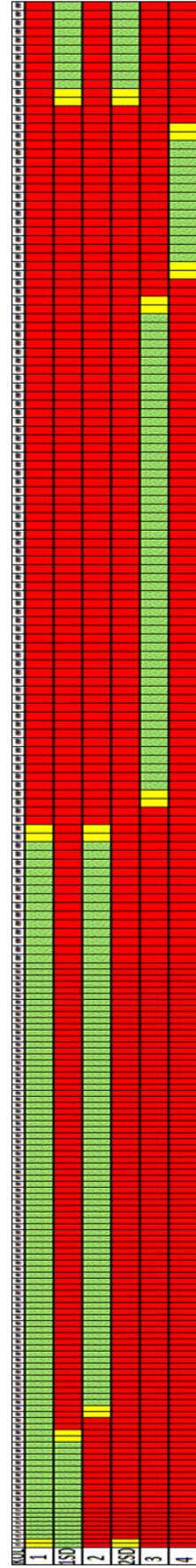
Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıtların Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıtların Oranı	Kapasite (Taşıt/Saat)	Hacim Taşıt/Saat)	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıt)	Hizmet Seviyesi (LOS)
			Min.	Maks.	Ağırlıklı Ort.							
1	1	27	5	34	14	0,41	609	544	0,89	1,17	115,2	F
	1-EK	27	7	28	8	0,37	518	291	0,56		105,3	F
	2	26	5	37	14	0,45	711	584	0,82		107,2	F
2	1	23	13	27	11	0,45	472	460	0,97		120,0	F
	1-EK	16	3	17	7	0,33	297	238	0,80		110,0	F
	2	23	15	28	11	0,45	483	459	0,95		110,0	F

Çizelge 4.4. Devamı.

3	1	32	22	40	17	0,46	736	724	0,98	89,0	F
	1-EK	1	1	12	4	0,16	240	110	0,46	92,2	F
	2	32	21	38	17	0,45	735	708	0,96	88,5	F
	3	32	19	38	16	0,47	742	693	0,93	91,2	F
4	1	30	12	27	11	0,43	453	444	0,98	109,1	F
	1-EK	2	4	20	6	0,27	426	190	0,45	104,3	F
	2	30	1	30	11	0,45	459	457	1,00	97,6	F
	3	31	9	24	10	0,38	430	371	0,86	114,3	F



Şekil 4.5. Kavşak 3'e ait faz planı.



Not: SD, sola dönüş fazını ifade etmektedir.

Şekil 4.6. Kavşak 3'e ait sinyal planı.

Çizelge 4.5. Kavşak 3 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (Taşıt/Saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	5,8	621	16	1,67	2,00	3,67	111	111,3	210
	1-EK	—	—	0,0	1,45	2,00	3,45		111,6	
	2	2,5	1440	7,5	2,08	2,00	4,08		110,9	
	3	2,6	1385	0,6	1,66	2,00	3,66		111,3	
	4	2,1	1714	1,1	1,65	1,30	2,95	30	31,1	
	4-EK	2,0	1800	1,8	1,88	1,90	3,78		30,2	
2	1	3,1	1161	18,4	3,33	2,00	5,33	87	85,7	
	2	2,2	1636	7,0	2,85	2,00	4,85		86,1	
	3	1,9	1895	2,1	2,97	2,00	4,97		86,0	
	4	2,2	1636	0,9	1,37	1,70	3,07	10	10,9	
3	1	2,0	1800	4,4	1,71	1,90	3,61	55	55,4	
	1-EK	3,1	1161	4,3	4,80	2,00	6,80		52,2	
	2	2,0	1800	1,6	1,67	1,90	3,57		55,4	

Çizelge 4.5. Devamı.

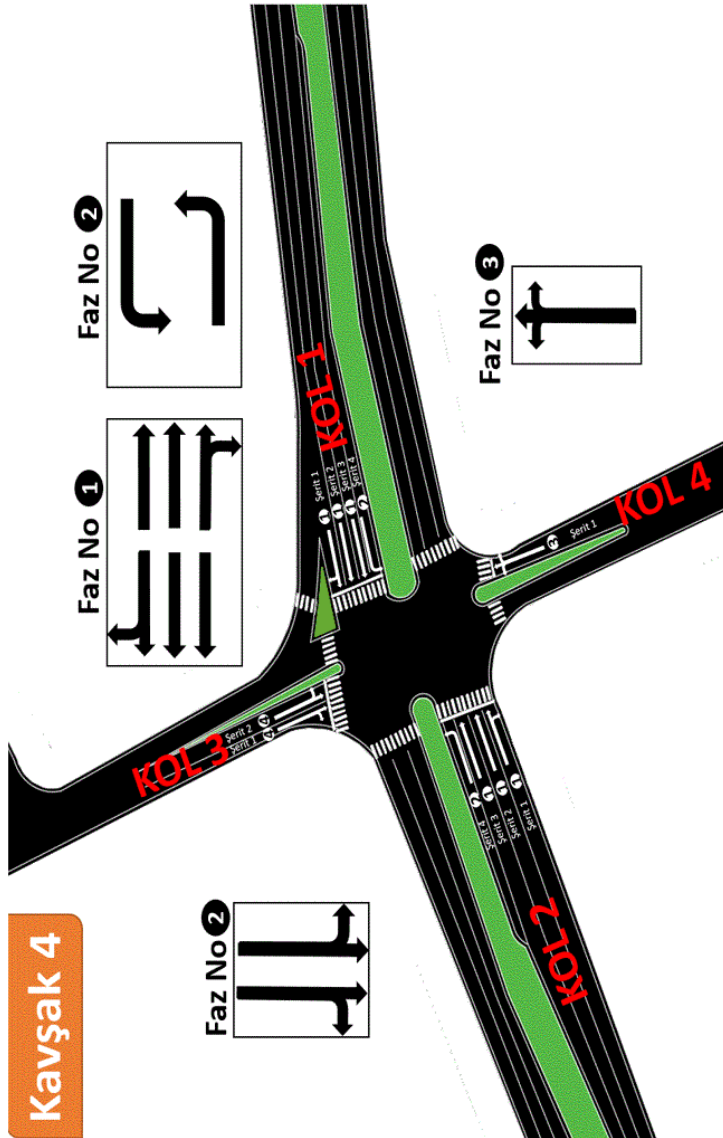
4	1	1,8	2000	1,8	1,60	1,80	3,40	14	14,6	
	1-EK	—	—	0,0	2,98	2,00	4,98		13,0	
	2	1,9	1895	5,9	1,43	1,70	3,13		14,9	

Çizelge 4.6. Kavşak 3 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

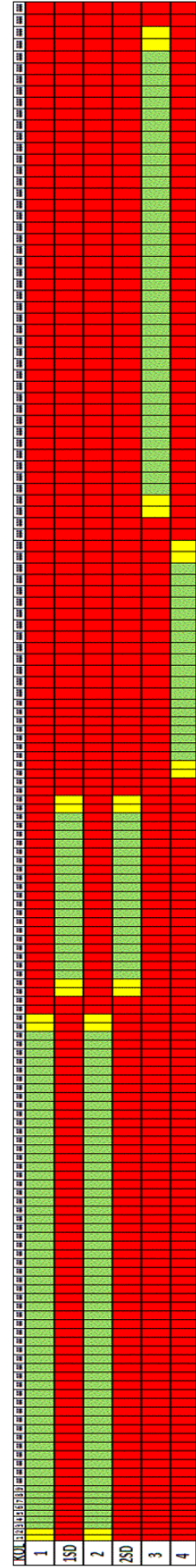
Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıtların Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıtların Oranı	Kapasite (Taşıtlar/Saat)	Hacim Taşıtlar/Saat	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıtlar)	Hizmet Seviyesi (LOS)
			Min.	Maks.	Ağırlıklı Ort.							
1	1	5	4	20	7	0,36	329	187	0,57	0,69	76,8	E
	1-EK	1	1	1	1	1,00	—	—	—		78,4	E
	2	11	21	47	18	0,44	760	553	0,73		74,3	E
	3	11	19	47	18	0,42	734	410	0,56		70,5	E
	4	10	4	19	8	0,38	254	222	0,87		135,5	F
	4-EK	2	1	14	5	0,21	259	108	0,42		146,0	F

Çizelge 4.6. Devamı.

2	1	12	5	26	10	0,40	474	286	0,60		104,0	F
	2	13	20	36	14	0,47	671	450	0,67		100,8	F
	3	14	22	40	16	0,46	776	513	0,66		102,5	F
	4	4	1	7	3	0,29	85	72	0,85		149,8	F
3	1	11	5	33	10	0,39	475	283	0,60		129,3	F
	1-EK	4	1	21	7	0,12	289	136	0,47		129,5	F
	2	10	8	32	11	0,36	475	297	0,63		117,3	F
	1	5	2	10	4	0,30	139	98	0,70		102,0	F
4	1-EK	1	1	3	2	0,75	—	—	—		121,5	F
	2	5	2	10	4	0,33	134	102	0,76		104,5	F



Şekil 4.7. Kavşak 4'e ait faz planı.



Not: SD, sola dönüş fazını ifade etmektedir.

Şekil 4.8. Kavşak 4'e ait sinyal planı.

Çizelge 4.7. Kavşak 4 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (Taşıt/Saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	4,0	900	16,9	2,24	2,00	4,24	59	58,8	160
	1-EK	—	—	0,0	1,85	2,00	3,85		59,2	
	2	3,7	973	10	2,23	2,00	4,23		58,8	
	3	2,2	1636	1,1	1,94	2,00	3,94		59,1	
	4	2,1	1714	0,9	1,72	1,50	3,22		19,8	
	4-EK	1,9	1895	0,0	1,85	1,90	3,75		19,2	
2	1	7,1	507	25,4	3,17	1,60	4,77	59	58,2	
	2	3,2	1125	9,3	3,40	1,30	4,70		58,3	
	3	2,5	1440	3,4	1,44	1,90	3,34		59,7	
	4	2,0	1800	0,5	1,56	1,90	3,46		19,5	
3	1	2,5	1440	1,3	1,04	1,90	2,94	39	40,1	
	2	2,6	1385	0,0	1,00	2,00	3,00		40,0	

Çizelge 4.7. Devamı.

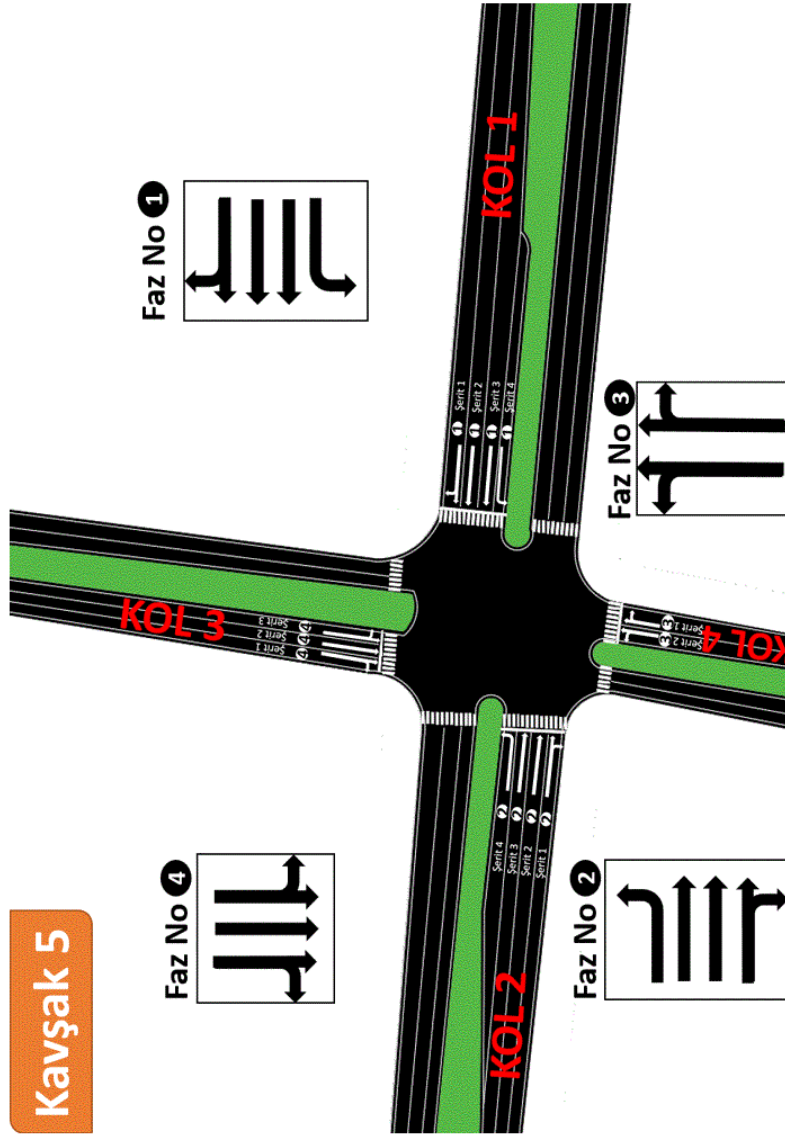
4	1	2,0	1800	6,0	1,46	2,00	3,46	19	19,5	
	2	1,8	2000	1,3	1,43	2,00	3,43		19,6	

Çizelge 4.8. Kavşak 4 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

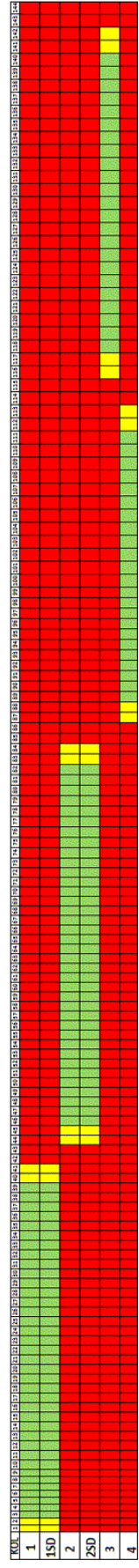
Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıt Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıt Oranı	Kapasite (Taşıt/Saat)	Hacim Taşıt/Saat	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıt)	Hizmet Seviyesi (LOS)
			Min.	Maks.	Ağırlıklı Ort.							
1	1	6	1	8	3	0,21	331	85	0,26	0,72	70,6	E
	1-EK	1	1	3	2	0,25	—	—	—		85,0	F
	2	17	8	24	9	0,42	358	349	0,98		92,1	F
	3	18	11	47	13	0,01	604	294	0,49		94,0	F
	4	12	1	12	6	0,37	212	213	1,00		83,1	F
	4-EK	1	1	3	2	0,50	227	30	0,13		88,1	F

Çizelge 4.8. Devamı.

2	1	8	5	15	6	0,25	184	180	0,98		90,2	F
	2	14	15	28	12	0,35	410	415	1,01		92,5	F
	3	16	14	34	13	0,26	537	398	0,74		96,5	F
	4	4	1	11	5	0,44	219	201	0,92		106,6	F
3	1	10	6	22	8	0,37	361	287	0,80		85,9	F
	2	13	11	17	8	0,40	346	301	0,87		115,3	F
4	1	7	1	10	4	0,29	219	127	0,58		115,7	F
	2	8	1	10	4	0,34	245	137	0,56		131,0	F



Şekil 4.9. Kavşak 5'e ait faz planı.



Şekil 4.10. Kavşak 5'e ait sinyal planı.

Çizelge 4.9. Kavşak 5 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (Taşıt/Saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	3,7	973	25,6	6,23	2,00	8,23	37	32,8	144
	1-EK	3,1	1161	6,3	1,48	2,00	3,48		37,5	
	2	2,4	1500	9,5	2,62	2,00	4,62		36,4	
	3	2,3	1565	0,5	2,24	2,00	4,24		36,8	
	4	2,9	1241	2,7	1,68	2,00	3,68		37,3	
2	1	5,5	655	21,2	3,70	1,60	5,30	37	35,7	
	2	2,5	1440	11,8	3,51	1,90	5,41		36,6	
	3	2,3	1565	4,6	1,61	1,00	2,61		38,4	
	4	3,6	1000	8,9	2,76	0,80	3,56		37,0	
	1	3,1	1161	2,7	6,54	1,90	8,44		18,6	
3	2	1,8	2000	3,4	1,37	1,90	3,27	23	23,7	
	3	1,9	1895	1,3	1,44	2,00	3,44		23,6	

Çizelge 4.9. Devamı.

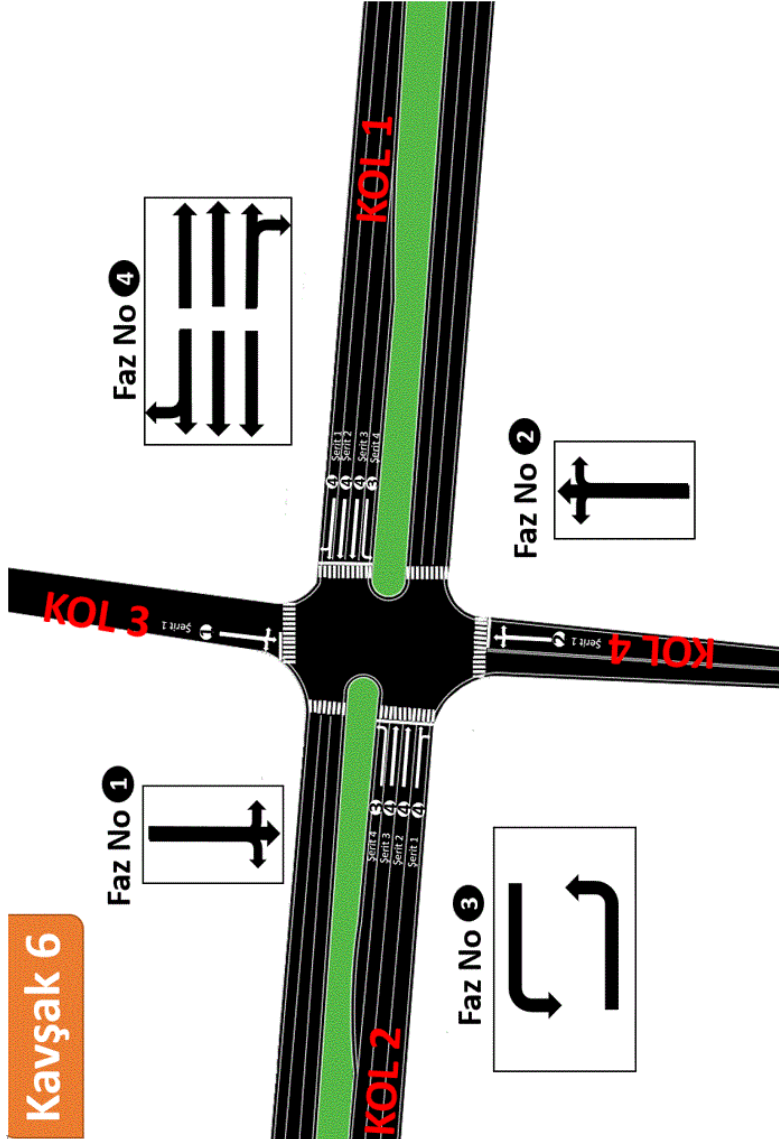
4	1	2,6	1385	3,8	1,57	2,00	3,57	23	23,4	
	1-EK	1,6	2250	8,6	4,72	2,00	6,72		20,3	
	2	2,1	1714	0,8	1,52	2,00	3,52		23,5	

Çizelge 4.10. Kavşak 5 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

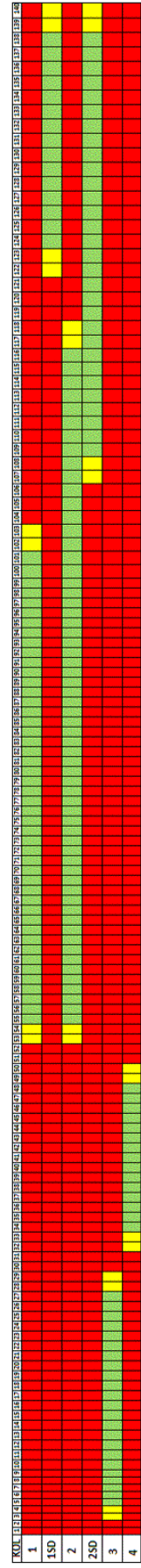
Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıt Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıt Oranı	Kapasite (Taşıt/Saat)	Hacim Taşıt/Saat)	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıt)	Hizmet Seviyesi (LOS)
			Min.	Maks.	Ağırlıklı Ort.							
1	1	5	2	11	4	0,32	221,6	147,0	0,66	0,69	93,8	F
	1-EK	2	1	6	3	0,12	302,4	63,0	0,21		92,7	F
	2	7	7	19	8	0,40	379,2	332,0	0,88		96,6	F
	3	7	5	19	8	0,41	400,0	338,0	0,85		91,8	F
	4	10	5	16	7	0,34	321,6	266,0	0,83		94,3	F

Çizelge 4.10. Devamı.

2	1	5	2	12	5	0,32	162,3	184,0	1,13		89,7	F
	2	7	7	22	9	0,41	366,0	379,0	1,04		90,2	F
	3	6	11	23	10	0,42	417,4	430,0	1,03		91,7	F
	4	6	6	17	7	0,36	256,9	273,0	1,06		96,2	F
3	1	4	1	8	3	0,14	150,0	70,0	0,47		104,5	F
	2	5	3	15	6	0,29	329,2	212,0	0,64		105,0	F
	3	6	3	15	6	0,36	310,5	234,0	0,75		102,0	F
4	1	3	1	9	4	0,14	225,0	116,0	0,52		96,2	F
	1-EK	6	1	5	3	0,06	317,2	55,0	0,17		102,7	F
	2	7	1	10	4	0,24	279,8	132,0	0,47		114,8	F



Şekil 4.11. Kavşak 6'ya ait faz planı.



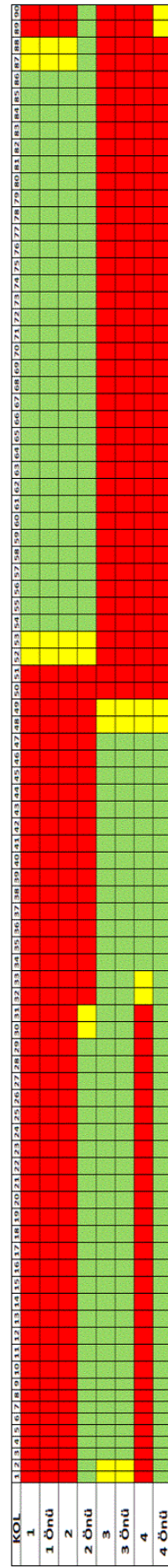
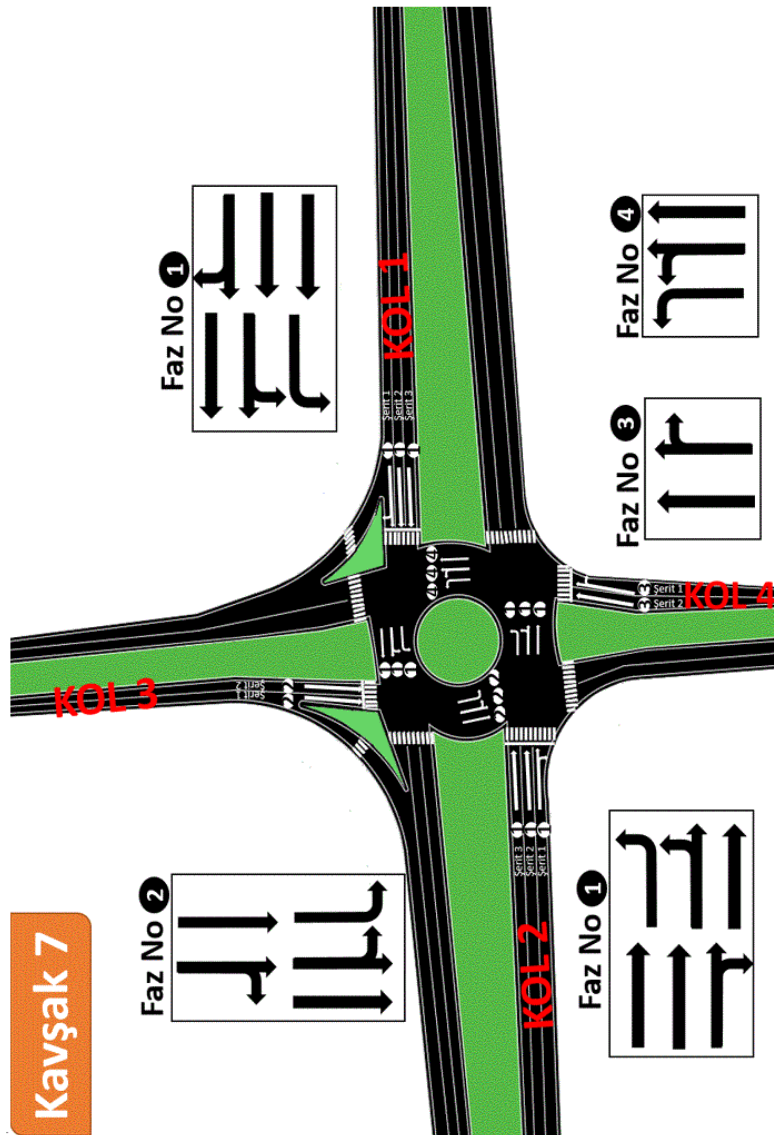
Şekil 4.12. Kavşak 6'ya ait sinyal planı.

Çizelge 4.11. Kavşak 6 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (Taşıt/Saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	6,7	537	20,4	3,80	2,00	5,80	47	45,2	140
	2	3,6	1000	5,0	1,94	1,80	3,74		47,3	
	3	2,6	1385	0,0	1,74	2,00	3,74		47,3	
	4	2,3	1565	0,0	0,96	1,90	2,86		16,1	
2	1	7,6	474	18,9	2,70	1,90	4,60	62	61,4	
	2	3,4	1059	8,9	2,16	1,70	3,86		62,1	
	3	4,5	800	2,8	1,67	1,40	3,07		62,9	
	4	2,2	1636	4,5	1,08	1,70	2,78		31,2	
3	1	3,0	1200	3,7	3,46	1,60	5,06	15	13,9	
	1-EK	2,0	1800	4,3	1,24	1,60	2,84		16,2	
4	1	3,5	1029	7,4	1,94	2,00	3,94	15	15,1	
	2	2,1	1714	2,1	1,35	2,00	3,35		15,7	

Çizelge 4.12. Kavşak 6 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıt Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıt Oranı	Kapasite (Taşıt/Saat)	Hacim Taşıt/Saat)	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıt)	Hizmet Seviyesi (LOS)
1	1	5	2	9	4	0,26	173	139	0,80	0,90	90,9	F
	2	8	10	18	8	0,43	338	360	1,07		78,0	F
	3	8	7	21	9	0,37	468	364	0,78		97,0	F
	4	4	1	9	3	0,08	180	84	0,47		99,0	F
2	1	5	2	16	5	0,34	208	195	0,94		74,2	E
	2	9	11	26	11	0,44	470	503	1,07		76,0	F
	3	9	10	27	10	0,41	359	440	1,22		77,5	F
	4	11	8	19	8	0,40	365	346	0,95		93,9	F
3	1	5	2	9	4	0,19	119	126	1,06		101,6	F
	1-EK	6	4	11	5	0,22	208	164	0,79		104,6	F
4	1	2	1	6	3	0,19	111	69	0,62		101,0	F
	2	3	2	7	3	0,12	192	88	0,46		107,8	F

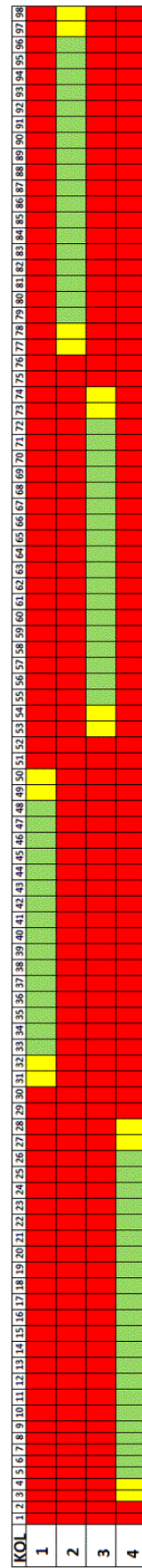
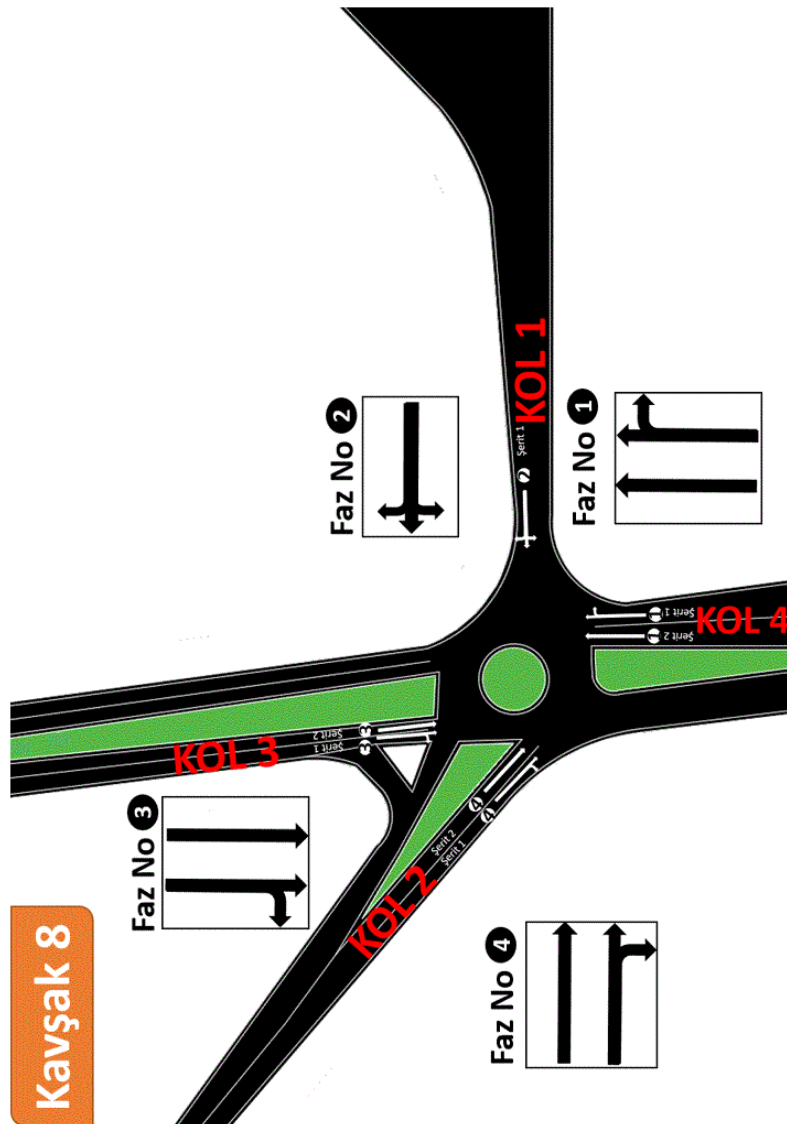


Çizelge 4.13. Kavşak 7 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (Taşıt/Saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	4,8	750	14,3	2,40	2,00	4,40	33	32,6	90
	1-EK	—	—	0,0	2,47	2,00	4,47		32,5	
	2	4,5	800	8,7	2,22	1,90	4,12		32,9	
	3	4,0	900	1,8	1,45	1,90	3,35		33,6	
2	1	6,1	590	23,1	4,31	2,00	6,31	33	30,7	
	2	4,2	857	8,2	2,36	1,90	4,26		32,7	
	3	3,9	923	5,5	1,86	1,90	3,76		33,2	
	1	3,3	1091	7,4	2,10	2,00	4,10	45	44,9	
3	1-EK	3,5	1029	6,5	1,65	2,00	3,65		45,4	
	2	3,2	1125	1,8	2,32	2,00	4,32		44,7	
	1	2,1	1714	2,4	2,72	1,80	4,52	14	13,5	
4	1-EK	—	—	0	3,44	2,00	5,44		12,6	
	2	2,5	1440	0,9	1,45	2,00	3,45		14,6	

Çizelge 4.14. Kavşak 7 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıt Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıt Oranı	Kapasite (Taşıt/Saat)	Hacim Taşıt/Saat)	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıt)	Hizmet Seviyesi (LOS)
1	1	3	1	10	4	0,08	272	174	0,64	1,06	48,4	D
	1-EK	1	1	2	2	1,00	—	—	—		49,7	D
	2	5	2	13	5	0,27	292	275	0,94		53,9	D
	3	5	2	13	5	0,20	336	249	0,74		58,5	E
2	1	3	1	8	3	0,14	201	139	0,69		53,9	D
	2	5	1	15	5	0,22	311	257	0,83		50,8	D
	3	6	2	13	5	0,21	341	252	0,74		55,0	D
	1	4	2	11	4	0,24	544	210	0,39		37,9	D
3	1-EK	3	1	6	3	0,13	519	110	0,21		43,4	D
	2	5	3	14	5	0,32	559	292	0,52		47,9	D
	1	4	2	10	4	0,11	257	179	0,70		59,2	E
4	1-EK	1	1	2	2	0,50	—	—	—		50,3	D
	2	5	2	8	4	0,14	234	186	0,80		78,7	E



Çizelge 4.15. Kavşak 8 için takip mesafesi, kayıp zaman ve sinyal sürelerine ait karakteristik özellikleri.

Kol No	Şerit No	Ort. Doygun Aralık (sn)	Doygun Akım (Taşıt/Saat)	Ağır Araç Oranı (%)	Başlangıç Kayıp Zaman (sn)	Son Kayıp Zaman (sn)	Toplam Kayıp Zaman (sn)	Yeşil Süre (sn)	Efektif Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
1	1	1,9	1895	1,00	0,88	1,90	4,68	16	17,2	98
2	1	1,9	1895	2,00	1,87	0,70	4,47	18	19,4	
	2	1,8	2000	0,80	1,14	0,80	3,74		17,7	
3	1	2,0	1800	3,10	1,62	1,00	4,62	18	19,4	
	2	1,8	2000	0,70	1,26	1,30	4,36		19,4	
4	1	2,5	1440	6,50	2,08	1,40	5,98	22	22,5	
	1-EK	3,3	1091	2,50	4,04	1,70	9,04		20,3	
	2	2,2	1636	3,10	1,58	1,90	5,68		22,5	

Çizelge 4.16. Kavşak 8 için şerit bazlı genel performans sonuçları.

Kol No	Şerit No	Kuyruktaki Taşıt Sayısı (taşıt/devre)	Yeşilde Geçen Taşıt Sayısı			Yeşilde Gelen Taşıt Oranı	Kapasite (Taşıt/Saat)	Hacim Taşıt/Saat)	V/C	Kritik V/C (X_c)	Ort. Kontrol Gecikmesi (sn/taşıt)	Hizmet Seviyesi (LOS)
1	1	4	Min.	Maks.	Ağırlıklı Ort.	0,32	333	268	0,8	0,97	73,7	E
2	1	9	5	14	7	0,36	375	400	1,1		97,5	F
	2	8	4	15	7	0,38	361	415	1,1		99,5	F
3	1	11	8	14	7	0,39	356	421	1,2		91,2	F
	2	11	7	13	7	0,36	396	403	1,0		80,0	F
4	1	6	4	12	6	0,30	331	314	0,9		81,4	F
	1-EK	6	1	11	4	0,15	226	173	0,8		76,7	E
	2	8	4	14	6	0,31	376	319	0,8		90,6	F

4.2. Seçilen Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Yöntemleri

Çalışma kapsamında doymuş altı ve doymuş üstü akımlar için kavşaklarda gecikme değeri (kontrol gecikmesi) ve her bir kol için devre başına ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) hesaplamalarında sıkça kullanılan üç farklı yöntem seçilmiştir. Burada ana amaç, arazi gözlemleri ile kavşaklardan elde edilen mevcut gecikme değeri ve kuyruk uzunlukları ile seçilen bu yöntemler ile hesaplanacak gecikme değeri ve kuyruk uzunluklarını karşılaştırmaktır. Böylece, literatürde mevcut olan bu yöntemlerin pilot kent olarak seçilen Antalya şehiriçi yol ağlarında yer alan kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğunu hesaplamada ne kadar efektif olduğu (ne kadar doğru hesapladığı) kolaylıkla görülebilecektir. Bu amaçla gecikme (ortalama kontrol gecikmesi) ve kuyruk uzunluğu hesaplarında kullanılmak üzere sırasıyla Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010), Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) ve Avustralya (Akçelik 1980) yöntemleri seçilmiştir.

4.2.1. Gecikme hesabı yöntemleri

Gecikme, sinyalizasyon kavşaklarının yaklaşım kollarındaki taşıtların kavşağın geometrik özellikleri, kavşak yaklaşımındaki diğer taşıtlar ve kavşaktaki sinyalizasyon sistemleri nedeni ile kaybettiği zamandır. Bu parametre, kavşakların hizmet düzeylerinin ve işletim performanslarının belirlenmesinde etkin şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında seçilen ve hesaplamalarda kullanılan üç farklı gecikme yöntemine ait denklemler aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

4.2.1.1. Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) yöntemi

HCM (2010)'a göre gecikme parametresi yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmesi olarak isimlendirilen üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu üç bileşenin toplamı ise kontrol gecikmesini oluşturmaktadır. HCM (2010)'a göre taşıt başına kontrol gecikmesi (d) aşağıda Denklem 4.1 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (4.1)$$

Burada;

d : Taşıt başına kontrol gecikmesi (sn/taşıt),

d_1 : Uniform varışlar kabulüyle uniform gecikme (sn/taşıt),

d_2 : Rastgele varışların ve doymuş akımdaki kuyrukların etkisini açıklama için eklenik gecikme değeridir. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, her bir şerit grubu için başlangıçta kuyruk bulunmadığını varsaymaktadır (sn/taşıt).

d_3 : Başlangıç kuyruk gecikmesi (sn/taşıt).

Uniform gecikme d_1 aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$d_1 = \frac{0,5 \times C \times (1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X) \times \frac{g}{C}]} \quad (4.2)$$

Burada;

C : Devre süresi (sn),

g : Efektif yeşil süre (sn),

X : hacim/kapasite oranı (doğgunluk derecesi),

Eklenik gecikme d_2 ise Denklem 4.3 yardımıyla hesaplanmaktadır,

$$d_2 = 900 \times T \times [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \times K \times L \times X}{c \times T}}] \quad (4.3)$$

Burada;

T : Analiz periyodu (saat),

K : Eklenik gecikme düzeltme faktörü (Ön zamanlı ise=0,5),

L : Ölçüm düzeltme faktörü (İzole kavşak ise=1),

c : Şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat),

X : hacim/kapasite oranı (doğgunluk derecesi),

Başlangıç kuyruk gecikmesi d_3 ise Denklem 4.4 yardımıyla hesaplanmaktadır

$$d_3 = \frac{3600}{v \times T} \times \left(t_A \times \frac{Q_b + Q_e - Q_{eo}}{2} + \frac{Q_e^2 + Q_{eo}^2}{2 \times c_A} - \frac{Q_b^2}{2 \times c_A} \right) \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} Q_e &= Q_b + t_A \times (v - c_A) \\ \text{eğer } v &\geq c_A \text{ ise } Q_{eo} &= T \times (v - c_A) \\ t_A &= T \\ \text{eğer } v &< c_A \text{ ise } Q_{eo} &= 0,0 \text{ taşıt} \\ t_A &= Q_b / (c_A - v) \leq T \end{aligned}$$

Burada;

v : Akım oranı talebi (taşıt/saat),

t_A : Analize periyodu boyunca karşılaşılmayan talebin düzeltme süresi (saat),

c_A : Ortalama şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat),

Q_b : Analiz periyodunun başlangıcında mevcut olan mevcut başlangıç kuyruğu (taşıt),

Q_e : Analiz periyodunun sonundaki mevcut başlangıç kuyruğu (taşıt),

Q_{eo} : Analiz periyodunun sonundaki mevcut başlangıç kuyruğu eğer $v \geq c_A$ ve $Q_b = 0,0$ (taşıt).

4.2.1.2. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) yöntemi

HCM (2000)'e göre bir şeritteki ortalama kontrol gecikmesi aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir,

$$d = d_1 \times (PF) + d_2 + d_3 \quad (4.5)$$

Burada;

d : Taşıt başına kontrol gecikmesi (sn/taşıt),

d_1 : Uniform varışlar kabulüyle uniform gecikme (sn/taşıt),

PF : Uniform gecikme dizisi düzeltme faktörü (sinyal süreci etkilerini açıklamak için),

d_2 : Rastgele varışların ve doymuş akımdaki kuyrukların etkisini açıklama için eklenik gecikme değeridir. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, her bir şerit grubu için başlangıçta kuyruk bulunmadığını varsaymaktadır (sn/taşıt),

d_3 : Başlangıç kuyruk gecikmesi (sn/taşıt).

İyi bir koordine sinyalizasyon sistemi, yeşil sürede gelen taşıtların sayısını arttırmaktadır. Bu yüzden sinyal koordine düzeltme faktörü, yarı etkileşimli, etkileşimsiz şerit grupları ile sabit zaman kontrollü tüm koordine şerit gruplarına uygulanmaktadır. Etkileşimli şerit grupları için eşgüdümlü denetimin sağlandığı durumlar içinde bu şerit guruplarına sinyal koordinasyon düzeltme faktörü (PF) uygulanabilmektedir (Murat 2006). Bu faktör (PF) değeri Denklem 4.6 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$PF = \frac{(1-P) \times f_{PA}}{1 - \frac{g}{C}} \quad (4.6)$$

Burada;

P : Yeşil sürede gelen akım oranı (ondalık),

g/C : Yeşil sürenin devre süresine oranı,

f_{PA} : Yeşil sürede gelen taşıtlar için tamamlayıcı düzeltme faktörüdür.

Uniform gecikme (d_1) ve eklenik gecikme (d_2) değerleri HCM (2010) gecikme yöntemi hesabında verilen Denklem 4.2 ve 4.3 yardımıyla hesaplanabilmektedir. d_3 hesabında ise 5 farklı durum söz konusudur:

Durum I ve II ($Q_b = 0$)

Bu durum söz konusu ise $d_3 = 0$; d_1 ise HCM (2010) Denklem 4.2 ile hesaplanmaktadır.

Durum III ($Q_b = 0$; $X \leq 1,0$; $t < T$)

$$d_3 = \frac{1800 \times Q_b \times t}{c \times T} \quad (4.7)$$

$$t = \min \left\{ T, \frac{Q_b}{c \times [1 - \min(1, X)]} \right\} \quad (4.8)$$

$$d_1 = 0,5 \times C \left(1 - \frac{g}{C} \right) \times \frac{t}{T} + \frac{0,5 \times C \times \left(1 - \frac{g}{C} \right)^2}{1 - \frac{g}{C} \times \min(1, X)} \times \left[\frac{(T - t)}{T} \right] \times PF \quad (4.9)$$

Durum IV ($Q_b > 0$; $X \leq 1,0$; $t = T$)

$$u = 1 - \frac{c \times T}{Q_b} [1 - \min(1, X)] \quad (4.10)$$

$$d_3 = \frac{1800 \times Q_b \times (1 + u)}{c} \quad (4.11)$$

$$d_1 = 0,5 \times C \left(1 - \frac{g}{C} \right) \quad (4.12)$$

Durum V ($Q_b > 0$; $X > 1,0$; $t = T$)

$$d_3 = \frac{3600 \times Q_b}{c} \quad (4.13)$$

$$d_1 = 0,5 \times C \left(1 - \frac{g}{C} \right) \quad (4.14)$$

Burada;

Q_b : Analiz periyodunun başlangıcındaki mevcut başlangıç kuyruğu (taşıt),

c : Şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat),

T : Analiz periyodu (saat),

t : Analiz periyodu boyunca karşılaşılmayan talebin süresi,

C : Devre süresi (sn),

- PF : Uniform gecikme dizisi düzeltme faktörü,
 g : Efektif yeşil süre (sn),
 X : Hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi),
 u : Gecikme parametresidir.

4.2.1.3. Avustralya (Akçelik) yöntemi

Avustralya yöntemine göre taşıt başına ortalama gecikme değerini hesaplayabilmek amacıyla ilk olarak bir trafik akımından kaynaklı olarak oluşan kuyruk uzunluğu değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu yöntemle göre kuyruk uzunluğu Denklem 4.15 yardımıyla hesaplanabilmektedir (Akçelik 1980):

$$N_0 = \frac{Q \times T_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12(X+X_0)}{Q \times T_f}} \right) \quad (4.15)$$

Burada;

- N_0 : Taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit var ise tüm şeritlerdeki toplam taşıt sayısıdır),
 Q : Kapasite (taşıt/saat),
 T_f : Akım süresi (saat cinsinden trafik hacim değerinin elde edildiği süre),
 $Q \times T_f$: T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı,
 X : Hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi),
 Z : $X - 1$,
 x_0 : Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesidir ve $X_0 > X$ ise N_0 değeri 0 olmaktadır. X_0 değeri Denklem 4.16 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$X_0 = 0,67 + s \times g/600 \quad (4.16)$$

Burada;

- s : Doygun akım değeri (taşıt/sn),
 g : Efektif yeşil süredir (sn).

Toplam gecikme ise aşağıda verilen Denklem 4.17 ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada Akçelik (1980) tarafından önerilen sadeleştirilmiş gecikme denklemi yerine hesaplamalarda bu çalışma kapsamında gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülen sadeleştirmeden önceki yani doygun altı ve üstü akımlara göre ayrı hesap yapan denklemler kullanılmıştır.

$$D_u = \begin{cases} \frac{q \times C \times (1 - u)^2}{2(1 - y)} & \text{eğer } X < 1 \\ 0,5 \times q \times r & \text{eğer } X \geq 1 \end{cases}$$

$$D_0 = N_0 \times X$$

$$d = D_u + D_0 \quad (4.17)$$

Burada;

d : Toplam gecikme (sn),

D_u : Uniform gecikme (sn),

D_0 : Doygunüstü akım gecikmesi (sn),

$q \times c$: Her devre süresi içerisinde gelen ort. taşıt sayısı (q =taşıt/sn biriminde akım),

C : Devre süresi (sn),

u : Yeşil süre oranı (g/C),

y : Akım oranıdır (q/s).

4.2.2. Kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri

4.2.2.1. Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) yöntemi

HCM (2010)'a göre kavşak kollarındaki taşıt gelişlerinin rastgele ve düzensiz olduğu durum için kollardaki kuyruk uzunluğu Denklem 4.18 ile hesaplanabilmektedir.

$$N_f = q_r \times r + q_g \times (t_f - d_a) \quad (4.18)$$

Burada;

N_f : Kuyruk uzunluğu (taşıt/devre),

q_r : Efektif kırmızı sürede gelen akım oranı (taşıt/sn),

q_g : Efektif yeşil sürede gelen akım oranı (taşıt/sn),

d_a : İvmelenme-ters ivmelenme gecikmesi (sn),

t_f : Servis süresi (sn),

r : Efektif kırmızı süredir (sn).

Servis süresi t_f ise aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$t_f = \frac{q_r \times r - q_g \times d_a}{s - q_g} \quad (4.19)$$

q_r ve q_g ise Denklem 30-31 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$q_r = \frac{(1 - P) \times q \times C}{r} \quad (4.20)$$

$$q_g = \frac{P \times q \times C}{g} \quad (4.21)$$

Burada;

P : Yeşil sürede gelen akım oranı (ondalık),

q : Akım oranı (taşıt/sn),

r : Efektif kırmızı ($C - g$) süre (sn),

g : Efektif yeşil süre (sn),

C : Devre süresidir (sn).

d_a ise Denklem 4.22 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$d_a = \frac{[1,47 \times (S_a - S_s)]^2}{2 \times (1,47 \times S_a)} \times \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_d} \right) \quad (4.22)$$

Burada;

S_a : Kola yaklaşan taşıtların ortalama hızı (m/sn),

S_s : Durma eşik hızı ($\cong 29$ m/sn),

r_a : İvmelenme oranı (1,05 m/sn²),

r_d : Ters ivmelenme oranıdır (1,2 m/sn²).

S_a ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$S_a = 0,90 \times (25,6 + 0,47 \times S_{pl}) \quad (4.23)$$

Burada;

S_{pl} : Hız limiti değeridir (km/saat).

4.2.2.2. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) yöntemi

HCM (2000) yöntemine göre bir sinyalizasyon kavşak kolundaki ortalama kuyruk uzunluğu Q , Denklem 4.24 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$Q = \frac{Q_M \times t_Q}{2C} \quad (4.24)$$

Burada;

Q : Ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre),

Q_M : Maksimum kuyruk uzunluğu (taşıt/devre),

t_Q : Kuyruk süresi (Kırmızıda bekleme ve boşalma süresi) (sn),

C : Devre süresidir (sn).

Maksimum kuyruk uzunluğu (Q_M) ise Denklem 4.25 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$Q_M = \frac{v \times r}{3600} \quad (4.25)$$

Burada;

v : Ortalama gelen akım oranı (taşıt/sa),

r : Efektif kırmızı ($C - g$) süredir (sn).

4.2.2.3. Avustralya (Akçelik) yöntemi

Gecikme yönteminde olduğu gibi kuyruk uzunluğu için de Akçelik (1980) tarafından önerilen sadeleştirilmiş kuyruk uzunluğu denklemi yerine doygun üstü ve altı akımları ayrı ayrı inceleyen ve aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır. Bu yöntemle göre kuyruktaki ortalama taşıt sayısı (N_r), Denklem 4.27 ve Denklem 4.28'in toplamı ile elde edilmektedir.

$$N_r = N_u + N_0 \quad (4.26)$$

$$N_u = \begin{cases} q \times r & \text{eğer } X < 1 \\ Q \times r & \text{eğer } X \geq 1 \end{cases} \quad (4.27)$$

$$N_0 = \frac{Q \times T_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12 \times (X + x_0)}{Q \times T_f}} \right) \quad (4.28)$$

Burada;

N_r : Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı,

N_u : Uniform bileşen,

Q : Kapasite (taşıt/sn),

q : Akım oranı (taşıt/sn),

N_0 : Ortalama doygunüstü akım için taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit var ise tüm şeritlerdeki toplam taşıt sayısıdır),

T_f : Akım süresi (saat cinsinden trafik hacim değerinin elde edildiği süre),

$Q \times T_f$: T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı,

X : Hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi),

Z : $x - 1$,

x_0 : Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesidir ve $X_0 > X$ ise N_0 değeri 0 olmaktadır. X_0 değeri Denklem 4.16 yardımıyla hesaplanmaktadır.

4.3. Kavşaklardaki Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri ile Seçilen Yöntemlerle Hesaplanan Değerlerin Karşılaştırılması

Bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılan denklemler kullanılarak incelenen sekiz farklı sinyalizasyon kavşağına ait mevcut gecikme (sn/taşıt) ve kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) değerleri ile seçilen üç yöntem kullanılarak hesaplanan değerler arasındaki farklılıklar, arazi gözlemleri ile hesaplanan değerler arasındaki yüzdesel değişim (% azalma ya da artma) ve aşağıda verilen dört farklı hata yöntemi (MAE, MSE, RMSE, MAPE) ile ölçülmüştür. Seçilen bu ölçüm yöntemlerine ait Denklemler (Denklem 4.29-4.33) aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

a-) Arazi Gözlemleri İle Hesaplanan Değerler Arasındaki Değişim (%)

$$Değişim (\%) = \frac{(\bar{F}_t - \bar{A}_t)}{\bar{A}_t} \quad (4.29)$$

b-) Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error – MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (4.30)$$

c-) Karesel Ortalama Hata (Mean Square Error – MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (4.31)$$

d-) Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (Root Mean Square Error – RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (4.32)$$

e-) Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata (Mean Absolute Percentage Error – MAPE)

$$MAPE (\%) = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100 \quad (4.33)$$

Burada;

A_t : Gerçek değer,

F_t : Tahmin edilen değer,

n : Gözlem sayısı,

$\bar{A}_t$: Gerçek değerlerin ortalaması,

$\bar{F}_t$: Tahmin edilen değerlerin ortalamasıdır.

Yukarıda verilen denklemler yardımıyla yapılan hesaplamalardan elde edilen gecikme değerleri ve mevcut gecikme değerleri arasındaki hata ve arazi ölçümünden elde edilen değere göre değişimin miktarı için yapılan karşılaştırmalar gecikme için Çizelge 4.17, kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) içinse Çizelge 4.18’de verilmektedir. Gecikme karşılaştırmalarında kullanılan ve incelenen her bir kavşağa ait gözlem ve hesap sonuçları Şekil 4.17’de kuyruk uzunluğuna ait bu değerler ise Şekil 4.18’de detaylı olarak verilmektedir.

Çizelge 4.17. Mevcut gecikme (sn/taşıt) değerleri ile seçilen yöntemler kullanılarak hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması.

Kavşak No	Yöntem	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	En İyi Yöntem(ler)
1	HCM 2010	-30,5	25,5	836,3	28,9	33,4	HCM 2010 / HCM 2000
	HCM 2000	-30,5	25,5	836,3	28,9	33,4	
	Avustralya	-89,1	69,9	4959,8	70,4	89,9	
2	HCM 2010	-16,1	33,4	1538,1	39,2	32,2	HCM 2010 / HCM 2000
	HCM 2000	-16,1	33,4	1538,1	39,2	32,2	
	Avustralya	-77,9	80,9	6909,9	83,1	77,2	
3	HCM 2010	-24,4	40,9	1913,4	43,7	39,1	HCM 2010
	HCM 2000	-23,9	41,5	1918,2	43,8	39,5	
	Avustralya	-94,6	103,0	11154,1	105,6	94,7	

Çizelge 4.17. Devamı.

4	HCM 2010	+4,1	52,5	3489,5	59,1	56,1	HCM 2010
	HCM 2000	+8,3	53,1	3794,3	61,6	57,6	
	Avustralya	-86,4	83,1	7344,2	85,7	86,1	
5	HCM 2010	+55,5	100,7	31978,1	178,8	108,2	Avustralya
	HCM 2000	+49,4	88,3	23125,9	152,1	94,8	
	Avustralya	-83,9	81,2	7013,9	83,7	83,2	
6	HCM 2010	70,8	91,7	26992,1	164,3	112,1	Avustralya
	HCM 2000	56,4	76,3	15456,1	124,3	92,6	
	Avustralya	-80,1	73,5	6217,0	78,8	77,7	
7	HCM 2010	-22,4	19,6	527,2	23,0	39,0	HCM 2010 - HCM 2000
	HCM 2000	-22,4	19,6	527,2	23,0	39,0	
	Avustralya	-89,3	47,2	2304,3	48,0	89,9	
8	HCM 2010	+126,7	124,2	35053,5	187,2	132,3	Avustralya
	HCM 2000	+99,9	101,0	21513,9	146,7	108,0	
	Avustralya	-67,7	58,4	3545,2	59,5	69,0	
Ort.	HCM 2010	+20,5	61,1	12791,0	90,5	69,1	HCM 2000
	HCM 2000	+15,1	54,8	8588,8	77,4	62,1	
	Avustralya	-83,6	74,7	6181,0	76,9	83,5	

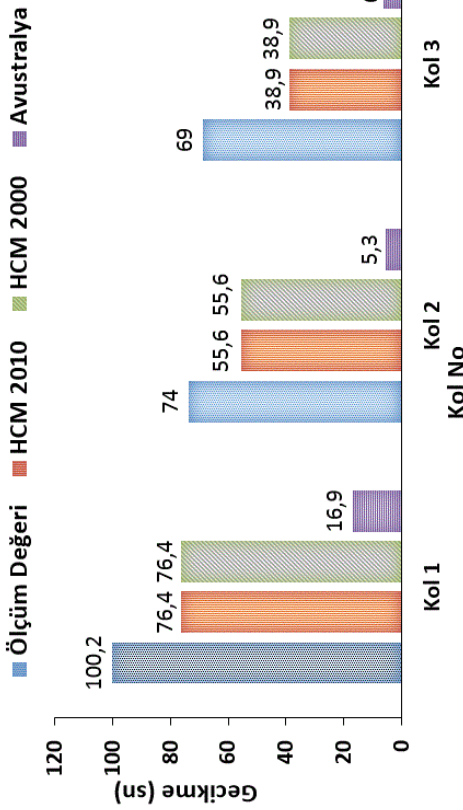
Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

Çizelge 4.17 detaylı olarak incelendiğinde gecikme değeri için seçilen yöntemler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birinin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen sekiz farklı sinyalize kavşaktaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin sekiz kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya (MAPE %) hataya (%62,1) sahip olan yöntemin HCM 2000 olduğu tespit edilmiştir. Bu da seçilen pilot kentte incelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerini seçilen üç yöntem içerisinde en iyi HCM (2000) yönteminin

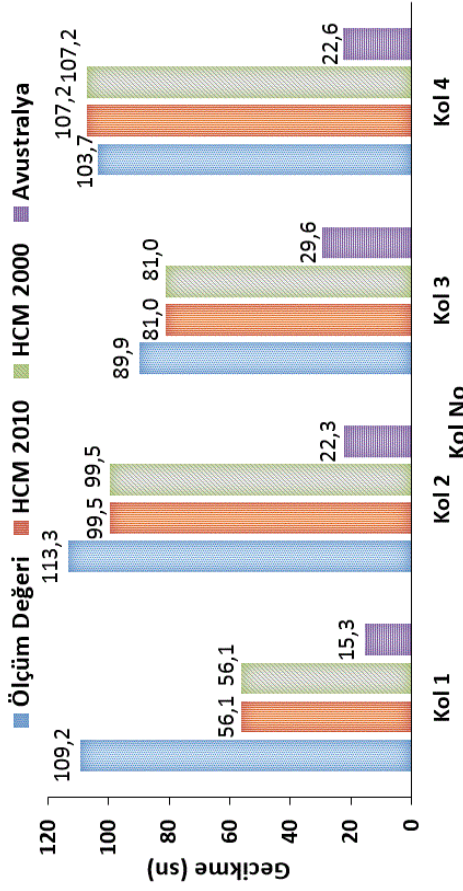
hesapladığını göstermiştir. Çizelge 4.17'deki karşılaştırma sonuçları ve Şekil 4.17'deki araziden ölçülen gerçek değerler ile seçilen yöntemler kullanılarak elde edilen hesap değerleri detaylı olarak incelendiğinde gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki bu yüksek hata miktarları seçilen gecikme yöntemlerinin Türkiye'deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermiştir. Bu sonuç, Türkiye'ye özgü yeni bir yöntemin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.



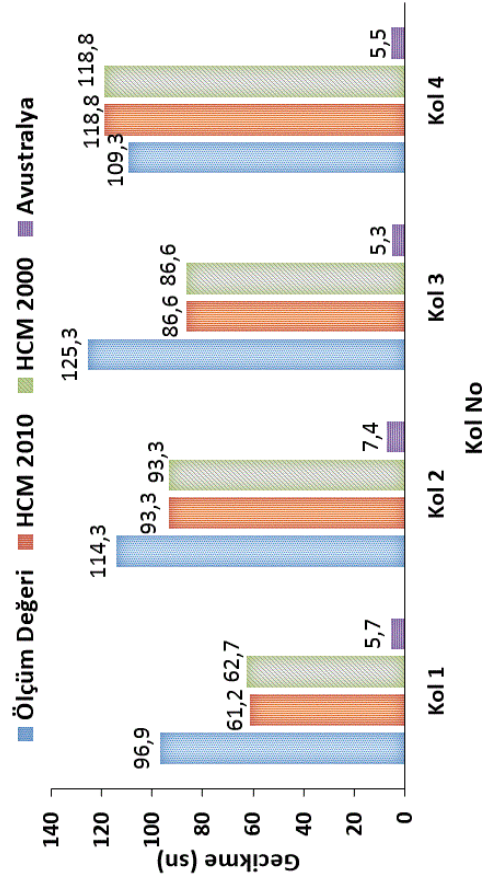
Kavşak 1



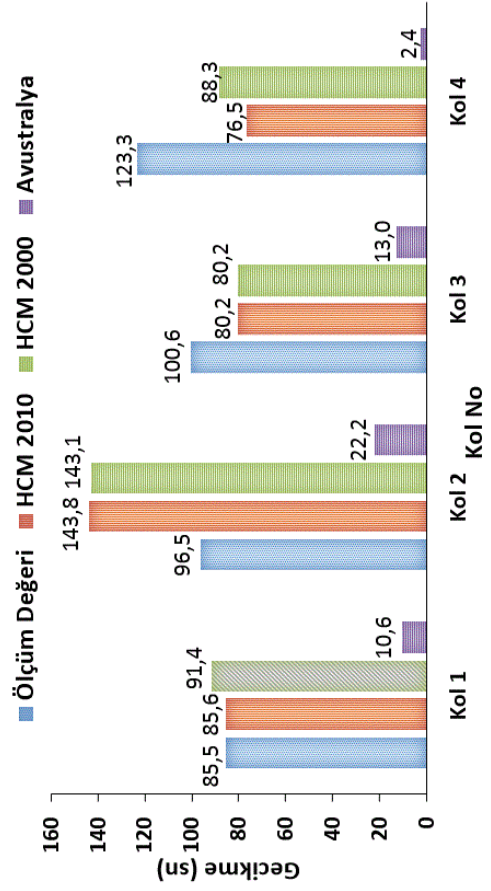
Kavşak 2



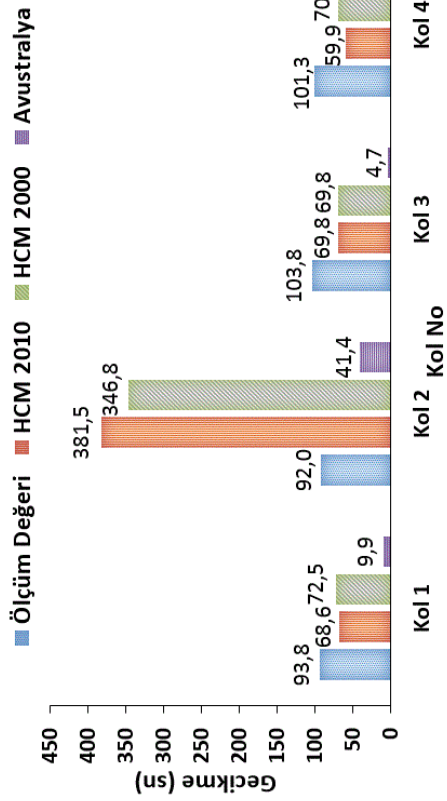
Kavşak 3



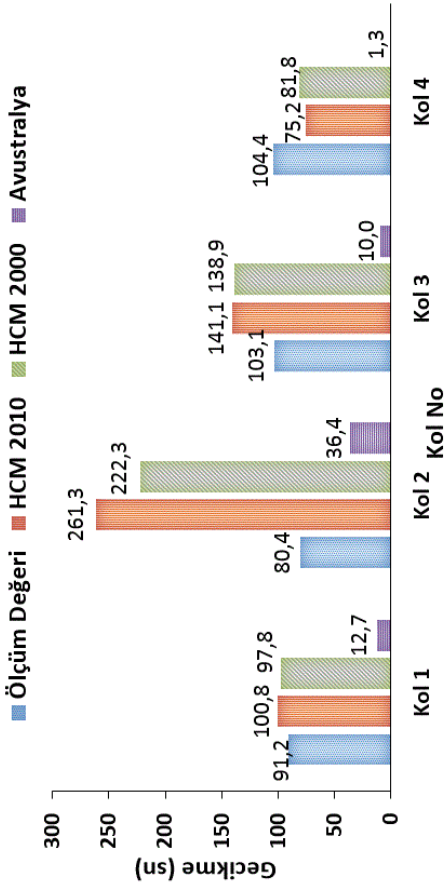
Kavşak 4



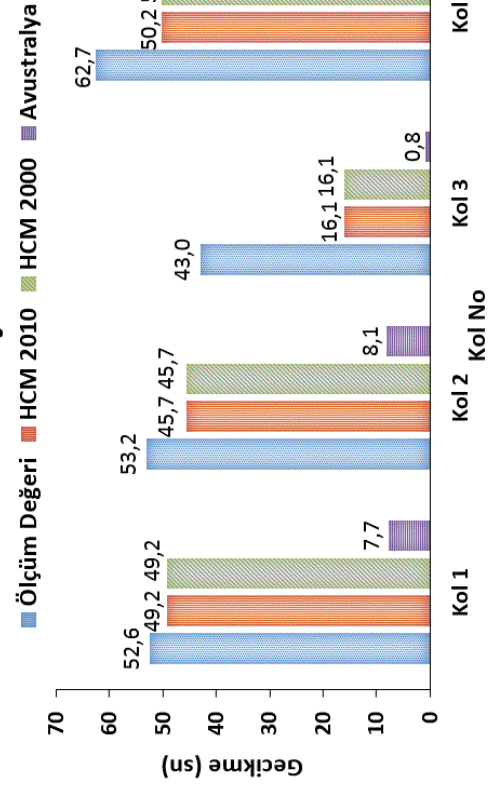
Kavşak 5



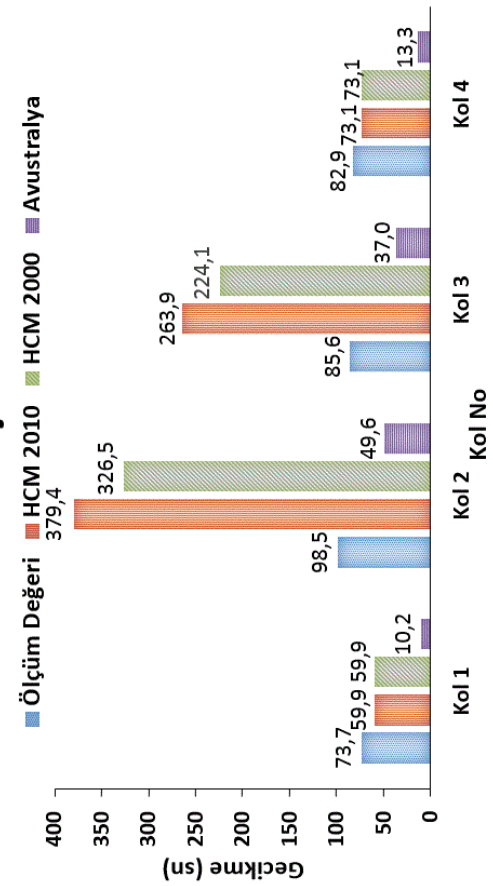
Kavşak 6



Kavşak 7



Kavşak 8



Şekil 4.17. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağına ait ölçülen ve hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt).

Çizelge 4.18. Mevcut kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) değerleri ile seçilen yöntemler kullanılarak hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması.

Kavşak No	Yöntem	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	En İyi Yöntem(ler)
1	HCM 2010	-20,4	2,0	6,0	2,4	61,9	HCM 2000
	HCM 2000	-59,2	3,9	20,1	4,5	60,9	
	Avustralya	+102,0	6,3	63,5	8,0	107,1	
2	HCM 2010	-35,8	9,9	118,1	10,9	84,1	Avustralya
	HCM 2000	-74,4	17,9	383,1	19,6	75,4	
	Avustralya	+29,5	10,6	153,3	12,4	74,7	
3	HCM 2010	+35,3	3,4	21,4	4,6	50,7	HCM 2000
	HCM 2000	-47,1	3,6	19,8	4,4	41,9	
	Avustralya	+56,3	4,4	39,3	6,3	75,4	
4	HCM 2010	-18,5	2,2	8,6	2,9	20,7	HCM 2010
	HCM 2000	-64,4	6,2	57,6	7,6	52,5	
	Avustralya	+80,7	10,1	196,8	14,0	111,9	
5	HCM 2010	+18,6	2,4	9,2	3,0	41,4	HCM 2000
	HCM 2000	-39,5	2,3	7,6	2,8	39,5	
	Avustralya	+232,6	14,3	433,3	20,8	231,2	
6	HCM 2010	+30,7	2,6	16,3	4,0	33,2	HCM 2010
	HCM 2000	-45,3	2,8	10,0	3,2	42,8	
	Avustralya	+228,0	14,4	411,6	20,3	191,1	
7	HCM 2010	+12,0	0,6	0,8	0,9	15,4	HCM 2010
	HCM 2000	-58,0	2,2	6,4	2,5	50,6	
	Avustralya	+122,0	5,2	57,3	7,6	111,4	

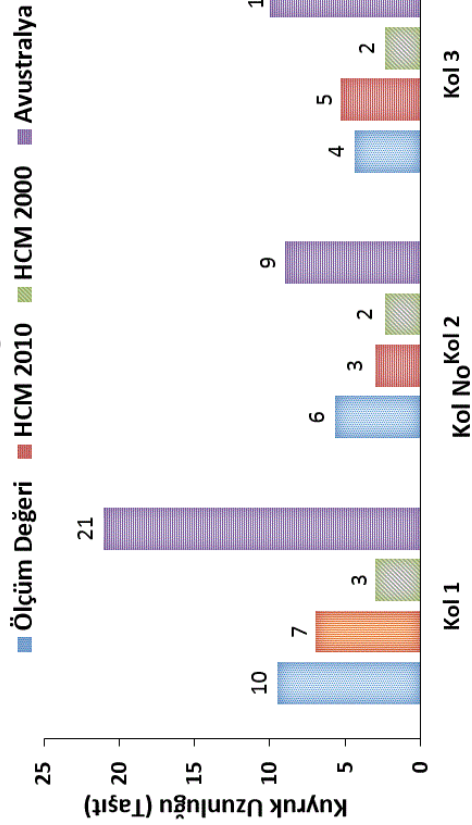
Çizelge 4.18. Devamı.

8	HCM 2010	+6,3	1,3	2,3	1,5	19,3	HCM 2010
	HCM 2000	-49,2	3,9	17,4	4,2	47,8	
	Avustralya	+277,8	21,9	660,4	25,7	274,2	
Ort.	HCM 2010	+3,5	3,0	22,8	3,8	40,8	HCM 2010
	HCM 2000	-54,6	5,4	65,2	6,1	51,4	
	Avustralya	+141,1	10,9	251,9	14,4	147,1	

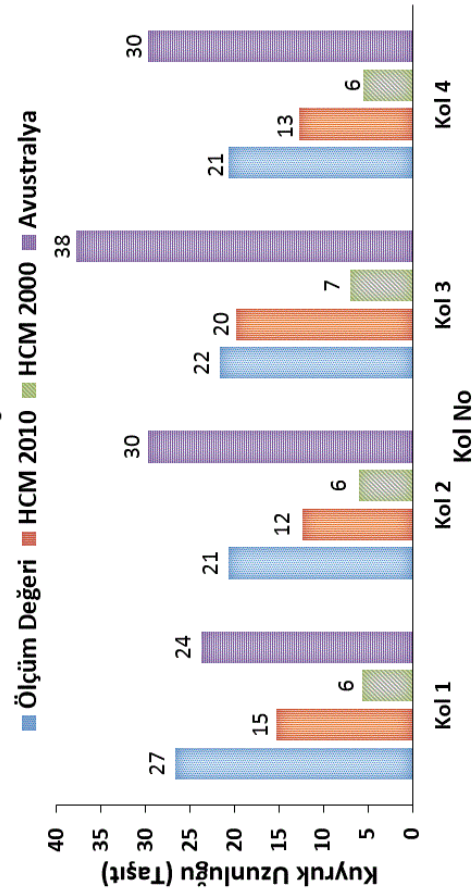
Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

Çizelge 4.18 detaylı olarak incelendiğinde ise kuyruk uzunluğu hesabı için seçilen yöntemler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasında gecikme değerlerine göre daha az farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemlerin her birisinin yine farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen sekiz farklı sinyalize kavşaktaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin sekiz kavşak için ortalaması alındığında kuyruk uzunluğu için ortalama en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya (MAPE %) hataya (%40,8) sahip olan yöntemin HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Seçilen pilot kentte incelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de sinyalize kavşak kollarındaki kuyruk uzunluklarının seçilen üç yöntem içerisinde en iyi HCM 2010 yönteminin hesapladığını göstermiştir. Çizelge 4.18’deki karşılaştırma sonuçları ve Şekil 4.18’deki araziden ölçülen gerçek değerler ile seçilen yöntemler kullanılarak elde edilen hesap değerleri detaylı olarak incelendiğinde, gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki bu yüksek hata miktarları seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin de Türkiye’deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermiştir. Elde edilen bu sonuç, gecikme hesabında olduğu gibi kuyruk uzunluğu hesabı içinde Türkiye’ye özgü yeni yöntemler geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymakta ve bu çalışmanın amacını desteklemektedir.

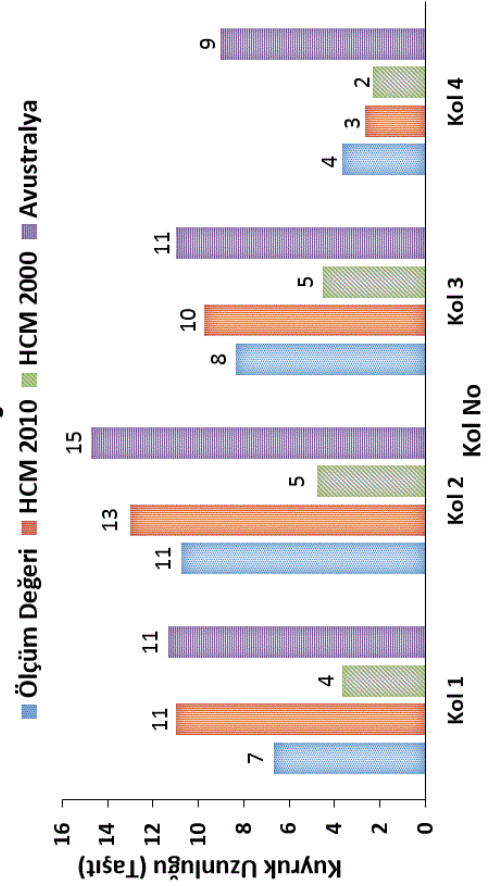
Kavşak 1



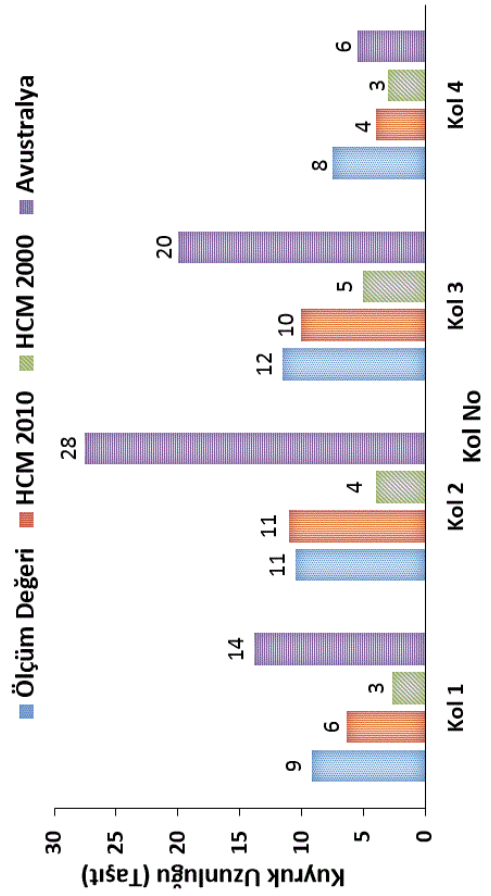
Kavşak 2

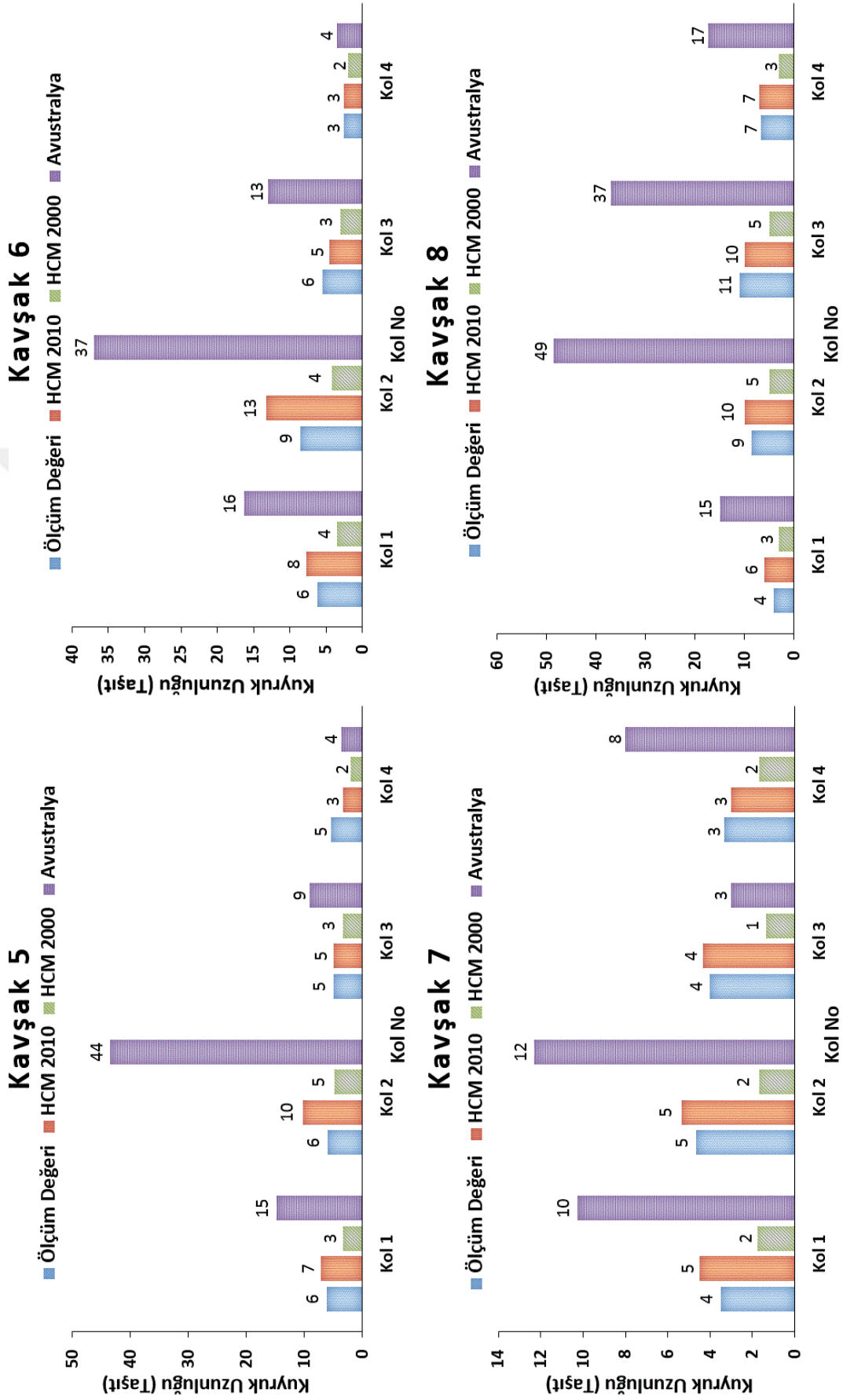


Kavşak 3



Kavşak 4





Şekil 4.18. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağına ait ölçülen ve hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt/devre).

4.4. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Optimizasyonu ile Mevcut Yöntemlerin Modifiye Edilmesi

Türkiye'ye özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri geliştirebilmek için saha çalışmalarından elde edilen verilerle ayrıntılı bir regresyon analizi yapmak gerekmektedir. Amaçlanan yöntemlerin matematiksel yapısı doğrusal olmayan, ayrık ve düzensiz olmayan bir yapıya sahip olması sebebiyle klasik regresyon analizlerine uygun değildir. Bu nedenle saha ölçümleri ile modifiye modeller arasındaki farkı minimize etme amacı içeren bir optimizasyon problemi tanımlanmıştır. Oluşturulan optimizasyon problemi doğrusal olmayan, ayrık ve düzensiz bir yapıya sahip olması nedeniyle gardiyan tabanlı deterministik optimizasyon yöntemleri yerine meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerinin uygulanması daha uygundur. Literatürde genetik algoritma, karınca kolonisi optimizasyonu, parçacık küme optimizasyonu, harmoni arama gibi bir çok meta-sezgisel optimizasyon yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada bu yöntemler arasından büyük ölçekli karmaşık optimizasyon problemlerinde iyi performans gösteren Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması tercih edilmiştir. YAK algoritmasının az yöntem parametresine bağlı oluşu, kod olarak hazır olarak bulunması, yöntemin mevcut probleme göre uyarlanması kolay oluşu gibi nedenler de YAK algoritmasının tercih nedenlerinden bir kaçıdır. Ayrıca mevcut optimizasyon probleminin çözümünde YAK algoritmasının iyi bir performans sergilemesi ve diğer örneklerle göre küçük ölçekli olması sebebiyle YAK algoritmasının iyi performans sergileyeceği tahmin edilmektedir. Çalışmada kullanılan YAK algoritmasının teorisi Bölüm 3.4'te detaylı olarak anlatılmıştır. YAK algoritmasında amaç; modifiye edilecek gecikme veya kuyruk uzunluğu yöntemlerinde kullanılacak yol geometrisi, mevcut şerit ve ek şerit sayısı parametrelerini en uygun şekilde eklemek için gerekli ağırlık katsayılarını bulmak olup herhangi bir kısıt fonksiyonu bulunmamaktadır. Bu sayede Bölüm 4.3'te hesaplanan hataların minimize edilmesi hedeflenmektedir. Buna göre optimizasyon problemi şu şekilde modellenebilir.

$$\text{Minimize ; } f(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{V_s} ((A_t)_i - (F_t)_i)^2, \vec{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (4.34)$$

Burada;

$\vec{x}$: Modifiye edilecek gecikme/ kuyruk uzunluğu yöntemlerinde kullanılan ağırlık katsayıları vektörü (tasarım değişkenleri),

V_s : Hata analizinde kullanılan veri sayısı,

A_t : Gerçek değer,

F_t : Tahmin edilen değer,

n : Modifiye edilecek gecikme/kuyruk uzunluğu yöntemlerindeki toplam ağırlık katsayı sayısıdır.

YAK yönteminde kullanılan terimlerin mevcut problemdeki karşılıkları aşağıdaki gibi belirtilebilir.

- | | |
|---|--|
| 1. Besin kaynağı | → Modifiye gecikme veya kuyruk uzunluğu yöntemi, |
| 2. Besin kaynağının konumu | → Modifiye yöntemdeki platform genişliği, mevcut şerit sayısı ve ek şerit sayısı parametrelerinin ağırlık katsayıları, |
| 3. Besin kaynağındaki nektar miktarı | → Modifiye yönteme göre hesaplanan hata miktarı (hata ile nektar miktarı ters orantılıdır.), |
| 4. Arıların Besin komşu kaynağı araması | → Mevcut modifiye yöntemdeki ağırlık katsayılarının güncellenmesi, |
| 5. Tasarım havuzu | → Algoritma içinde mevcut tüm modifiye yöntemlerine ait bilgilerin depolandığı veri tabanı, |
| 6. Açgözlü seçim | → Güncellenen yeni modifiye yöntemin eski yöntemin yerine geçmesi, |
| 7. Besin limiti | → Modifiye yöntemin kendini yenilemeden algoritmada durabilme sayısı, |
| 8. Keşifçi arının yeni besin kaynağı araması | → Yiyecek limitini aşan eski yöntemin yerine yeni modifiye yöntem üretilmesi, |
| 9. Tekrar | → Modifiye yöntemin oluşturulması veya güncellenmesi, |
| 10. En fazla nektar miktarına sahip besin kaynağı | → En az hata değerine sahip modifiye yöntem (Optimum sonuç). |

Gecikme değeri ve kuyruk uzunluğu optimizasyonu problemi için YAK yöntemine ait işlem adımları beş adımdan oluşmaktadır. Bu işlem adımları aşağıda verilen şekilde açıklanabilmektedir.

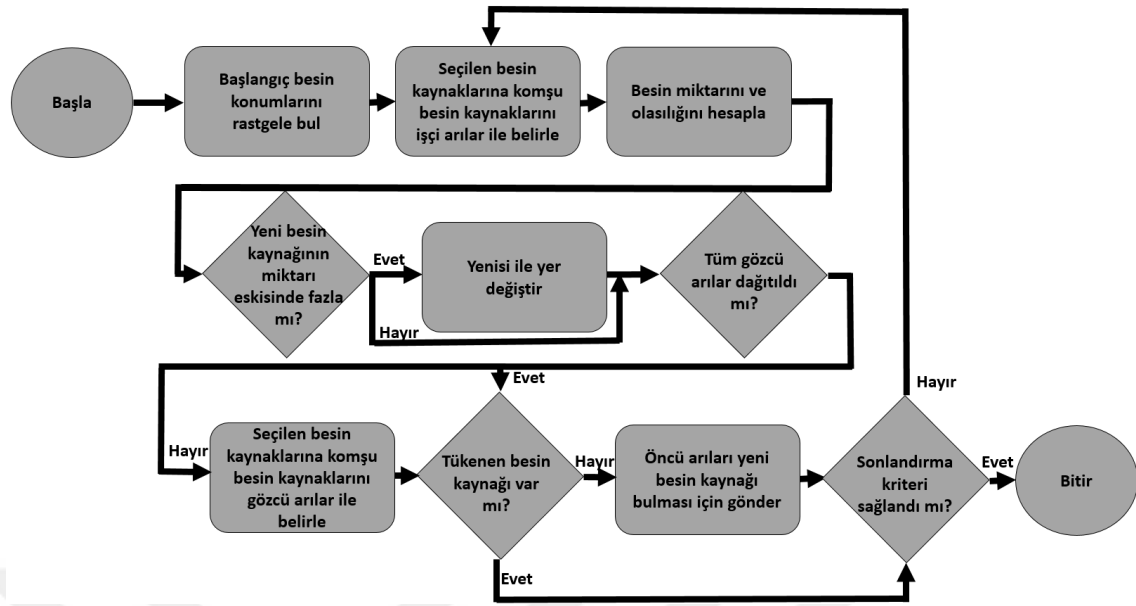
ADIM 1: Yöntemin ana parametreleri bu aşamada belirlenmektedir. Bunlar: Algoritmadaki maksimum tekrar sayısı, besin kaynağı sayısı ve besin limitidir. Daha öncede bahsedildiği gibi YAK yönteminde toplam işçi sayısı toplam gözcü sayısı besin kaynağı sayısına eşittir.

ADIM 2 (Başlangıç Fazı): Bu işlem adımına göre arama parametrelerinin tanımlanmasından sonra koloni içerisindeki tüm arılar rasgele yiyecek kaynaklarının aramaya başlarlar. Başka bir ifade ile besin kaynağı sayısı kadar Denklem 4.34'e göre rasgele modifiye yöntemler oluşturulur. Oluşturulan modifiye yöntemlere göre gecikme/kuyruk uzunlukları hesaplanarak gerçek veriler karşılaştırılır ve modifiye yöntemlerin hata değerleri hesaplanır. Elde edilen tüm bilgiler kaydedilerek tasarım havuzu oluşturulur.

ADIM 3 (İşçi Arılar Fazı): Bu adımda tasarımların değerlendirilmesinden sonra en az hata değerine sahip yöntem en iyi tasarım kaydedilir. Daha sonra işçi arılar Denklem 3.8'e göre besin kaynakları çevresinde komşu besin kaynakları ararlar (mevcut modifiye yöntemlerindeki ağırlık katsayılarını günceller). Bu işlem sonucunda her bir besin kaynağı için yeni modifiye yöntem oluşur. Oluşturulan bu yeni modifiye yöntemler Adım 2'deki gibi değerlendirilerek hata değerleri hesaplanır ve eski yöntemin hata değeri ile karşılaştırılır. Eğer yeni yöntemin hata değeri daha düşükse yeni yöntem eski yöntemin yerine geçer. Bu işleme açgözlü seçim (greedy selection) denir. Eğer yeni yöntemin hata değeri daha yüksekse, yeni yöntem kullanılmaz, eski yöntem kalır ve yönteme ait besin kaynağının kullanılma sayısı bir artırılır. Açgözlü seçim gerçekleşirse yönteme ait olan besin kaynağının kullanma sayısı sıfırlanır.

ADIM 4 (Gözcü Arılar Fazı): Yeni tasarımların bulunması ve yer değiştirme işlemleri tamamlandıktan sonra tüm işçi arılar yuvalarına geri döner ve waggle dansı yaparlar. Bir başka deyişle işçi arılar tasarımlar ile ilgili bilgileri gözcü arılara aktarırlar. Gözcü arılar bu bilgilere göre hangi yeni tasarımları nasıl oluşturacakları ile ilgili karar verirler. Gözcü arıların bu karar verme işlemi modifiye yöntemlerin seçilme olasılıklarına bağlıdır. Hata değerlerine bağlı olarak hesaplanan olasılık değerleri Denklem 3.10'da belirtilmiştir. Olasılık değerlerine göre gözcü arılar gidecekleri besin kaynaklarını belirler ve işçi arılar gibi besin kaynaklarının çevresinde yiyecek ararlar. Bir başka deyişle seçilen besin kaynaklarına atanan modifiye yöntemler adım 3'teki gibi değiştirilerek yeni modifiye yöntemler oluşturulur ve açgözlü seçim (greedy selection) uygulanır.

ADIM 5 (Keşifçi Arılar Fazı): Bu adıma tüm besin kaynaklarının kullanma sayısı kontrol edilir. Eğer besin limitini aşan besin kaynakları varsa keşifçi arılar o besin kaynağının yerine yeni besin kaynakları ararlar. Besin kaynağı bulma işlemi Adım 1'deki gibi rasgele yapılır. Bu işlemlerden sonra Adım 3'e dönülür ve Adım 3 ve 5 arası algoritma başında tanımlanan maksimum tekrar sayısına ulaşıncaya kadar tekrar edilir. Bu işlem sonucunda algoritma hafızasındaki en iyi tasarım en uygun modifiye yöntem olarak belirlenir. Tüm bu işlemlerine ait algoritmanın akış diyagramı Şekil 4.19'da özetlenmektedir.



Şekil 4.19. Yapay arı kolonisi optimizasyon yönteminin işlem adımlarını gösteren akış şeması.

Analizlerde kullanılan YAK optimizasyon yöntemine ait kaynak kodlar ise EK 1’de verilmiştir. YAK yöntemine göre toplam döngü sayısı NEB ve NOB’nin toplamına eşittir. Burada: NEB işçi arı sayısını, NOB ise gözcü arı sayısını göstermektedir. Bu parametreler kullanıcılar tarafından Adım 1’de verilen şekilde seçilmektedir. Analizlerde deneme (döngü) sayısı yiyecek kaynağının limitine bağlıdır ve kesinlikle yiyecek kaynağının limit değerini geçmemelidir. Bu çalışma kapsamında YAK kullanılarak yapılan analizler ve Şekil 4.20’de örnek bir görseli verilen Microsoft Visual Basic® programlama dili kullanılarak yapılmıştır.

```

Dim d1, d2, d3, dtotal, Sagma, ta, Bukt_s, Say_s, EK3 As Double
Dim ToplamData, OrtData, ToplamData2, OrtData2 As Double
Dim Qn0 As Integer
Dim C_s, n_s, E_s, I_s, g_s, X_s, V_s, Qn_s, Qn_s, dpercek_s, kap_c_s, t_s, S0_s, AAO_s, K0_s As Double
ToplamData = 71, Say_s = 7
For y = 1 To 8 'diksey
    Karveakismi = "Karveak" & CDec(y)
    kolayay = Int(Sheet1(Karveakismi).Range("A1").Value)
    For ik = 1 To kolayay
        C_s = C(y, ik)
        n_s = n(y, ik)
        E_s = E(y, ik)
        I_s = I(y, ik)
        Bukt_s = Bukt(y, ik)
        Say_s = Say(y, ik)
        EK3 = n_s - Say_s
    For il = 1 To n_s
        g_s = g(y, ik, il)
        X_s = X(y, ik, il)
        V_s = V(y, ik, il)
        Qn_s = Qn(y, ik, il)
        dpercek_s = dpercek(y, ik, il)
        kap_c_s = kap_c(y, ik, il)
        t_s = t(y, ik, il)
        S0_s = S0(y, ik, il)
        AAO_s = AAO(y, ik, il)
        If X_s > 1 Then
            EK3 = 1 'minX > 1 ise demek istedin herhalde
        Else
            EK3 = X_s
            d1 = (0.5 * C_s * (1 - g_s / C_s) ^ 2) / (1 - (EK3 * g_s / C_s))
        End If
        d2 = 900 * t_s * ((X_s - 1) + Sqr((X_s - 1) ^ 2 + (8 * X_s * I_s * X_s / (kap_c_s * t_s))))
        If v_s > kap_c_s Then
            Qn0 = t_s * (v_s - kap_c_s)
            ta = t_s
            Qn_s = Qn_s + ta * (v_s - kap_c_s)
        Else
            Qn0 = 0
            ta = Qn_s / (kap_c_s - v_s)
            If ta > t_s Then
                ta = t_s
            End If
        End If
        d3 = 3600 / (v_s * t_s) * ((X_s * (Qn_s + Qn_s - Qn0) / 2 + (Qn_s ^ 2 + Qn0 ^ 2) / (2 * kap_c_s) - Qn_s ^ 2 / (2 * kap_c_s))
        Dim S0_ek As Double
        S0_ek = 0
        If S0_ek < 0 Then S0_ek = 0
        dtotal = (d1 * Deger(1)) ^ Deger(7) - Deger(2) / (Bukt_s ^ Deger(3)) + Deger(4) * EK3 ^ (1 / Deger(5)) - ((1 / Deger(6)) * n_s) ^ 4 'Burada Çalışacak
        If Not = 1 Then
            Sheet1(Karveakismi).Cells(15, 11 + 1 + 6 * (ik - 1)).Value = d1
            Sheet1(Karveakismi).Cells(15, 11 + 1 + 6 * (ik - 1)).Value = d2
        End If
    Next ik
Next y

```

Şekil 4.20. Optimizasyon analizlerinin Microsoft Visual Basic® programlama dili kullanılarak yapılması.

Seçilen YAK yöntemi kullanılarak ek şerit oluşumu ve geometri problemleri olan kavşaklarda gecikme değeri ve kuyruk uzunluğu hesaplaması yapacak Türkiye'ye özgü yeni ve modifiye denklemlerin önerilmesi amacıyla, çalışma kapsamında yukarıda detaylı olarak anlatılan üç farklı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemi kullanılmıştır. Yani özetle, seçilen bu üç yöntem YAK yardımıyla modifiye edilmiş ve bu tür sorunlu kavşaklardaki gecikme değerlerini ve kuyruk uzunluklarını hesaplayacak yeni ve modifiye denklemler önerilmiştir. Bu işlem sırasında mevcut yöntemlerdeki her türlü değişken, optimizasyon problemine dahil edilmiş ve yapılan analizler sonucunda modifiye denklemler üzerinde negatif etkiye ya da hiçbir etkiye sahip olmayan değişkenler önerilen modifiye bu denklemlerde kullanılmamıştır. Yapılan işlemler sonucunda, ek şerit oluşumu ve geometri problemi olan kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini daha doğru hesaplayan aşağıdaki modifiye denklemler belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan analizlerden YAK optimizasyon yönteminde kullanılan parametreler için en uygun değerler olarak Aydoğdu vd. (2016)'ın çalışmasında kullanılan ve efektif sonuçlar verdiği belirlenen değerler kullanılarak en uygun modifiye denklemler belirlenmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Yapay Arı Kolonisi optimizasyon yönteminde kullanılan sabit parametre değerleri (Aydoğdu vd. 2016).

No	Yöntem Parametresi	Seçilen Değerler
1	Yiyecek Sayısı	250
2	Yiyecek Limiti	5
3	Levy Flight Durumu	Var
4	Greedy Seçim türü	En iyi
5	Tekrar (İterasyon) Sayısı	10000

4.5. Sinyalize Kavşaklarda Gecikme ve Kuyruk Uzunluk Hesaplamaları Yapmak için Önerilen Yeni Modifiye Denklemler

Yapılan optimizasyon analizlerinden elde edilen, ek şerit oluşumu ve geometri problemi bulunan kavşaklardaki mevcut gecikme değeri ve kuyruk uzunluğu hesaplayan (tahmin eden); HCM 2010, HCM 2000 ve Avustralya (Akçelik) yöntemleri temel alınarak geliştirilen yeni modifiye denklemler sırasıyla Denklem 4.35-4.40'da, denklemlerdeki değişkenlere ait katsayılar ise Çizelge 4.20'de verilmektedir.

4.5.1. Önerilen modifiye gecikme değeri hesap yöntemleri

4.5.1.1. Gecikme yöntem 1 (Modifiye HCM 2010)

$$D = (d_1 \times x_1)^{x_2} - \frac{x_3}{PG^{x_4}} + (x_5 \times EKS^{x_6}) - \left(\frac{1}{x_7^{MEVS}} \right)^4 \quad (4.35)$$

4.5.1.2. Gecikme yöntem 2 (Modifiye HCM 2000)

$$D = (x_1 \times d_1 \times PF)^{x_2} + d_3 - PG^{x_3} + \left(\frac{x_4}{MEVS}\right)^{x_5} - \left(\frac{EKS}{x_6}\right)^3 \quad (4.36)$$

4.5.1.3. Gecikme yöntem 3 (Modifiye Avustralya)

$$D = \left[(x_1 \times d)^{x_2} + \frac{x_3}{PG^{x_4}} + \frac{EKS}{x_5} - \frac{1}{MEVS} x_6 \right]^3 \quad (4.37)$$

Burada;

D : Ortalama kontrol gecikmesi (sn/taşıt),

d_1 : Uniform varışlar kabulüyle ortalama uniform gecikme (sn/taşıt) (Denklem 4.2 ile hesaplanmaktadır),

d : Avustralya yöntemine ortalama kontrol gecikmesi (sn/taşıt) (Denklem 4.17 ile hesaplanmaktadır),

PG : İncelenen kavşak kolundaki toplam platform genişliği (m),

EKS : İncelenen kavşak kolu için toplam ek şerit sayısı,

$MEVS$: İncelenen kavşak kolundaki mevcut şerit sayısı (varsa ek şeritler dâhil),

PF : Uniform gecikme dizisi düzeltme faktörü (Denklem 4.6 ile hesaplanmaktadır).

4.5.2. Önerilen modifiye kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri**4.5.2.1. Kuyruk yöntem 1 (Modifiye HCM 2010)**

$$N = (x_1 \times Nf^{x_2}) - \frac{x_3}{\sqrt{PG}} - \left(\frac{EKS}{x_4}\right)^{x_5} - \left(\frac{x_6}{MEVS}\right)^2 \quad (4.38)$$

4.5.2.2. Kuyruk yöntem 2 (Modifiye HCM 2000)

$$N = \left(\frac{x_1 \times Qm \times tQ}{\sqrt{2} * C^{x_2}} \right) - \left(\frac{x_3}{PG} + \frac{EKS^{x_4}}{x_5} + \frac{1}{MEVS^3} \right)^3 \quad (4.39)$$

4.5.2.3. Kuyruk yöntem 3 (Modifiye Avustralya)

$$N = \frac{x_1 \times Nr + x_2 \times PG + (x_3 \times EKS)^3 - (x_4 \times MEVS^{x_5})}{8} \quad (4.40)$$

Burada;

N : Ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt/devre),

Nf : HCM 2010 yöntemine göre kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) (Denklem 4.18 ile hesaplanmaktadır),

C : Devre süresi (sn),

Q_M : HCM 2000 yöntemine göre maksimum kuyruk uzunluğu (taşıt/devre)
(Denklem 4.25 ile hesaplanmaktadır),

t_Q : HCM 2000 yöntemine göre kuyruk süresi (Kırmızıda bekleme ve boşalma süresi) (sn),

Nr : Avustralya yöntemine göre kuyruktaki ortalama taşıt sayısı (Denklem 4.26 ile hesaplanmaktadır).

Çizelge 4.20. Geliştirilen modifiye gecikme (sn/taşıt) ve kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) yöntemlerindeki değişkenlere ait katsayılar.

Analiz Türü	Önerilen Yöntem	Hesaplanan Katsayılar						
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Gecikme	Modifiye HCM 2010	14,90	0,69	17,20	3,82	4,21	0,52	0,91
	Modifiye HCM 2000	6,85	0,77	0,065	15,15	1,27	1,01	—
	Modifiye Avustralya	3,61	0,08	4,34	0,03	12,98	0,03	—
Kuyruk Uzunluğu	Modifiye HCM 2010	1,11	0,82	0,18	4,46	2,95	0,86	—
	Modifiye HCM 2000	3,49	2,39	1,21	1,99	14,18	—	—
	Modifiye Avustralya	0,47	4,55	0,36	1,19	1,36	—	—

4.6. Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri ile Önerilen Modifiye Denklemler Kullanılarak Hesaplanan Değerlerin Karşılaştırılması

YAK optimizasyon analizleri sonucu önerilen üç farklı modifiye gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar, kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri ile karşılaştırılarak elde edilen hata miktarları ve arazi ölçümünden elde edilen değere göre değişimin miktarı gecikme için Çizelge 4.21, kuyruk uzunluğu içinse Çizelge 4.22’de verilmektedir. Gecikme karşılaştırmalarında kullanılan ve incelenen her bir kavşağa ait gözlem ve hesap sonuçları Şekil 4.21’de, kuyruk uzunluğuna ait bu değerler ise Şekil 4.22’de detaylı olarak verilmektedir.

Çizelge 4.21 incelendiğinde, kavşak kollarındaki gecikmeleri hesaplamak için geliştirilen modifiye yöntemler (Modifiye HCM 2010; Modifiye HCM 2000 ve Modifiye Avustralya) kullanılarak elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen değerler arasında seçilen üç farklı gecikme yöntemine (HCM 2010; HCM 2000 ve Avustralya) göre daha az hata olduğu tespit edilmiştir. Seçilen gecikme yöntemleri içerisinde en düşük ortalama hata miktarı %62,1 (HCM 2000) iken önerilen modifiye yöntem için en düşük bu ortalama değer %9,5 (HCM 2010)’dir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama mutlak yüzdesel hata değerlerinin (MAPE %) incelenen sekiz

kavşak için ortalaması alındığında modifiye HCM 2010 yönteminin gecikme hesabı için en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya sahip olan yöntem olduğu belirlenmiştir (%9,5 hata). Ayrıca seçilen mevcut yöntemlerde olduğu gibi önerilen modifiye yöntemlerin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı modifiye yöntemlerin daha düşük hata ile hesap yaptığı tespit edilmiştir. İncelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye’de sinyalizasyon kavşak kollarındaki gecikmeleri geliştirilen modifiye üç yöntem içerisinde en iyi modifiye HCM 2010 yönteminin hesapladığı görülmektedir. Çizelge 4.21’deki karşılaştırma sonuçları ve Şekil 4.21’deki araziden ölçülen gerçek değerler ile önerilen modifiye yöntemler kullanılarak elde edilen hesap değerleri detaylı olarak incelendiğinde ise, gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki düşük hata miktarları önerilen modifiye gecikme hesabı yöntemlerinin Türkiye’deki sinyalizasyon kavşakları için kullanılabilir (efektif) olduğunu ortaya koymuştur. İlerleyen bölümlerde önerilen modifiye yöntemlerin kullanılabilir olduğu Vissim programı kullanılarak yapılan mikro trafik simülasyonu ile de doğrulanarak programın kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.21. Geliştirilen modifiye gecikme yöntemleri ve mevcut yöntemler ile hesaplanan gecikme değerlerinin (sn/taşıt) karşılaştırılması.

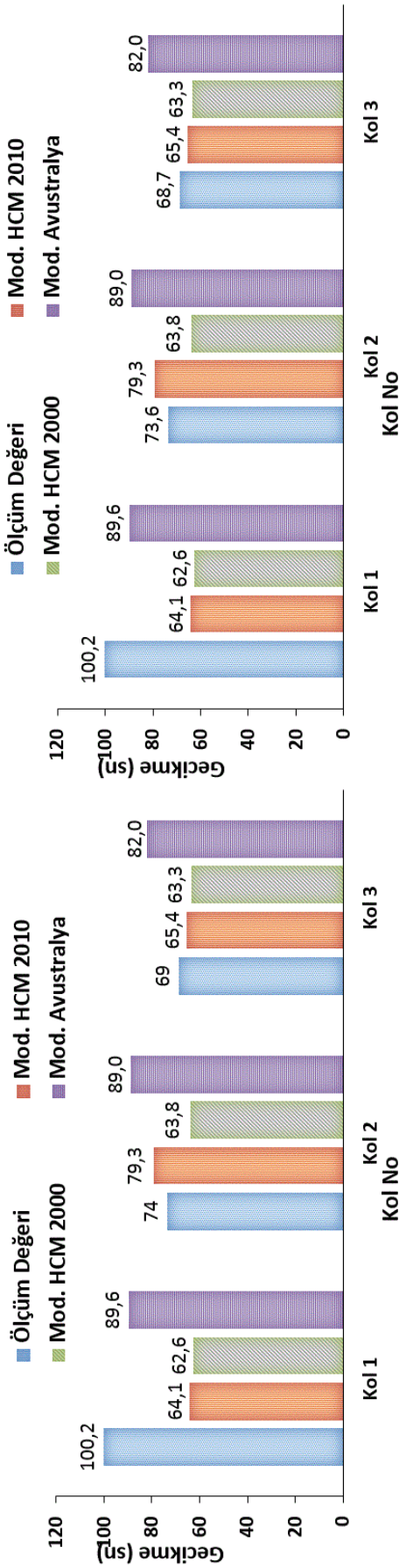
Kavşak No	Modifiye Yöntem Adı	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	En İyi Modifiye Yöntem
1	HCM 2010	-13,9	12,3	347,7	18,6	13,6	HCM 2010
	HCM 2000	-21,8	12,8	360,3	19,0	14,8	
	Avustralya	+7,5	12,0	174,0	13,2	15,9	
2	HCM 2010	-8,5	10,1	153,9	12,4	9,4	HCM 2010
	HCM 2000	-18,3	19,4	462,9	21,5	18,0	
	Avustralya	-10,0	14,7	263,2	16,2	13,9	
3	HCM 2010	+4,4	12,3	366,8	19,2	11,6	HCM 2010
	HCM 2000	-12,5	20,9	840,4	29,0	19,4	
	Avustralya	-24,2	29,7	1211,7	34,8	25,4	
4	HCM 2010	-0,4	9,6	145,3	12,1	10,0	HCM 2010
	HCM 2000	-4,5	14,1	287,3	16,9	15,0	
	Avustralya	-16,4	15,7	439,2	21,0	15,1	

Çizelge 4.21. Devamı.

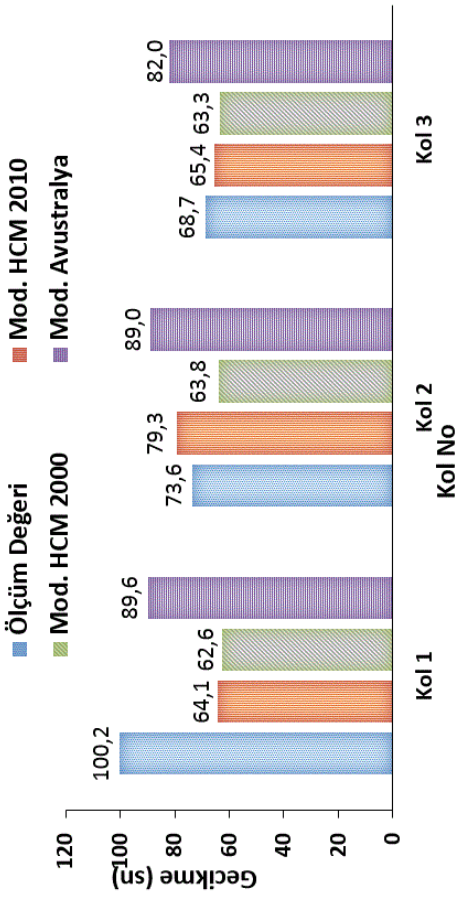
5	HCM 2010	+0,7	2,6	15,0	3,9	2,7	HCM 2010
	HCM 2000	+0,9	9,6	121,1	11,0	9,8	
	Avustralya	-13,3	13,1	271,8	16,5	13,0	
6	HCM 2010	+2,1	4,7	41,0	6,4	5,0	HCM 2010
	HCM 2000	+6,4	6,4	80,0	8,9	6,9	
	Avustralya	-8,9	15,9	319,0	17,9	17,4	
7	HCM 2010	+8,6	6,7	92,6	9,6	13,2	HCM 2010
	HCM 2000	+13,9	14,4	336,1	18,3	28,6	
	Avustralya	+54,2	26,9	802,6	28,3	53,5	
8	HCM 2010	-7,2	9,6	147,8	12,2	10,4	HCM 2000
	HCM 2000	-7,7	16,3	333,7	18,3	18,4	
	Avustralya	+10,2	7,2	78,4	8,9	9,0	
Ort.	HCM 2010	-1,8	8,5	163,8	11,8	9,5	HCM 2010
	HCM 2000	-5,5	14,2	352,7	17,9	16,4	
	Avustralya	-0,1	16,9	445,0	19,6	20,4	

Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

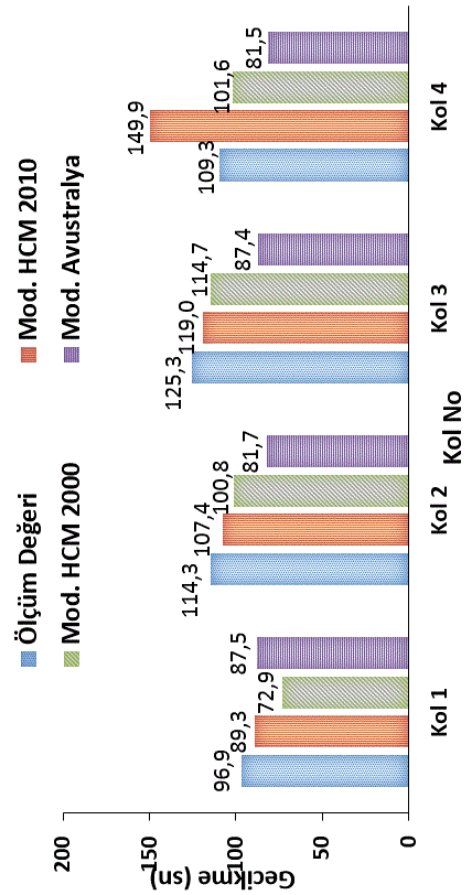
Kavşak 1



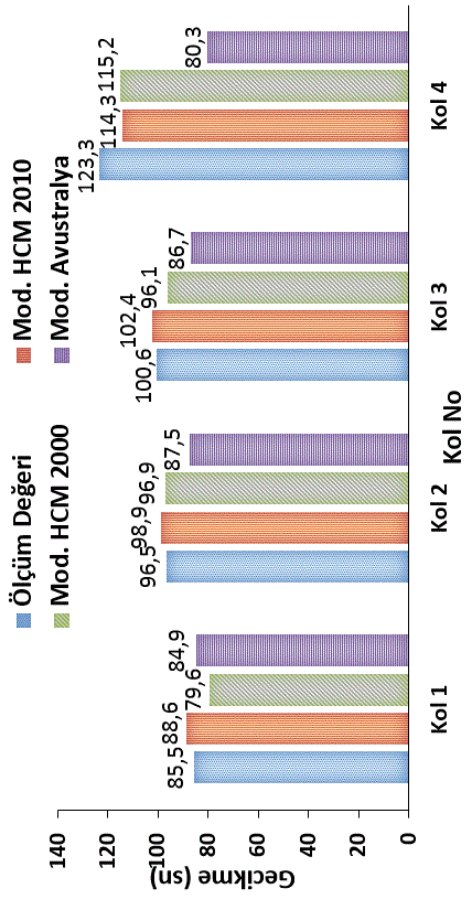
Kavşak 2



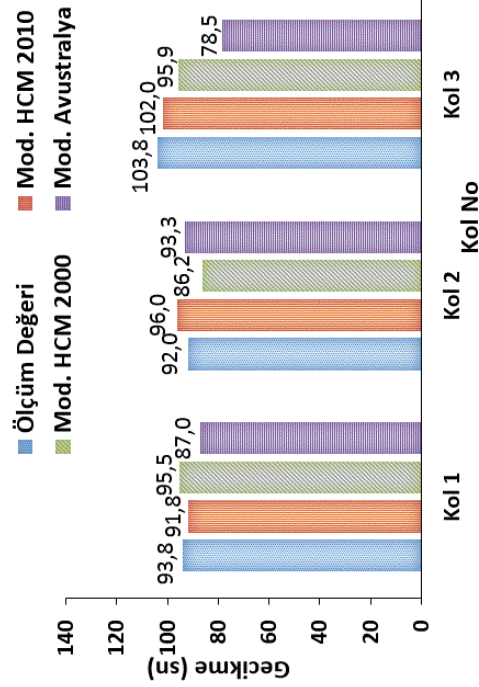
Kavşak 3



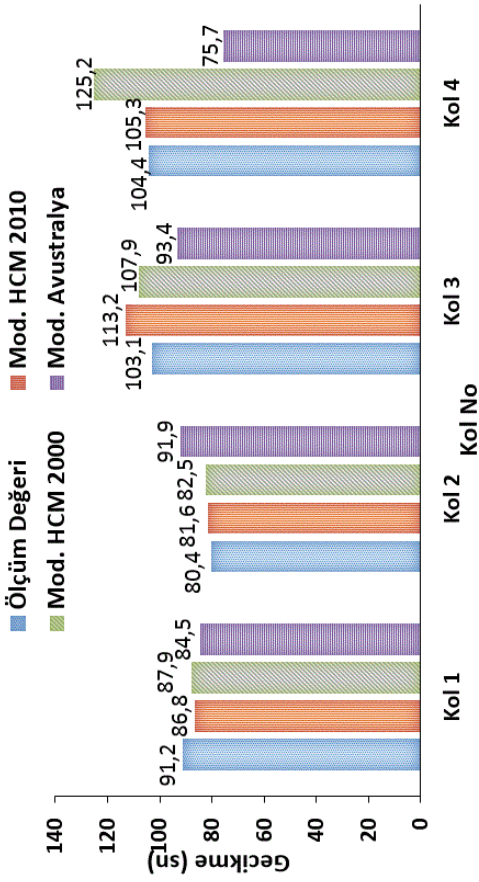
Kavşak 4



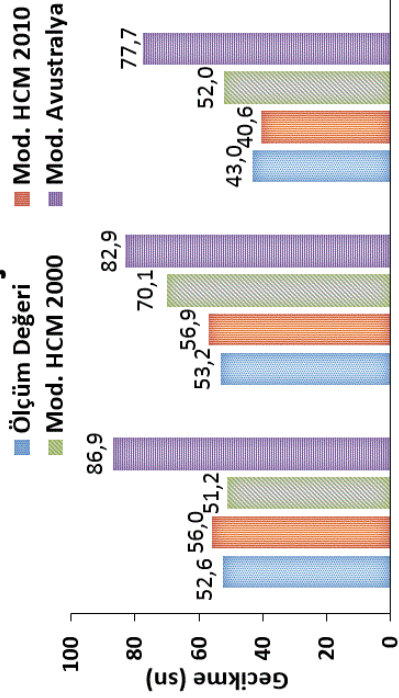
Kavşak 5



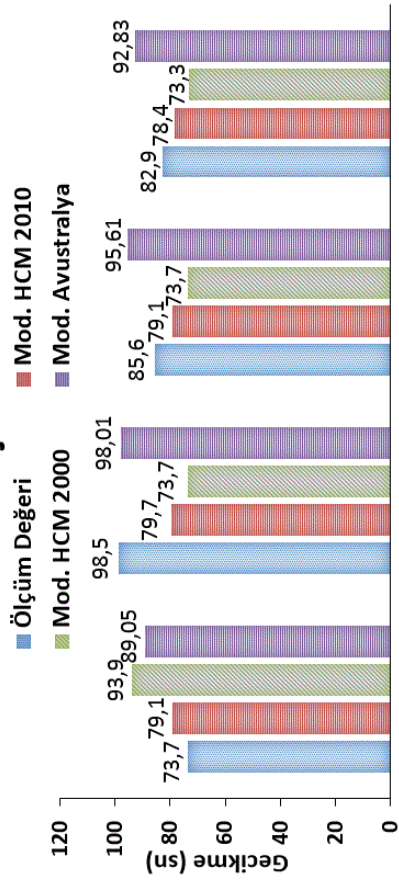
Kavşak 6



Kavşak 7



Kavşak 8



Şekil 4.21. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağı ait ölçülen ve modifiye yöntemler ile hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt).

Çizelge 4.22. Geliştirilen modifiye kuyruk uzunluğu yöntemleri ve mevcut yöntemler ile hesaplanan kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) değerlerinin karşılaştırılması.

Kavşak No	<u>Modifiye</u> Yöntem Adı	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	En İyi <u>Modifiye</u> Yöntem
1	HCM 2010	-38.5	3,0	11,0	3,3	65,9	HCM 2000
	HCM 2000	-28.2	2,1	5,6	2,4	52,8	
	Avustralya	-17.9	2,3	7,8	2,8	84,2	
2	HCM 2010	-52.0	14,4	237,9	15,4	86,7	HCM 2000
	HCM 2000	-52.0	13,5	215,6	14,7	72,7	
	Avustralya	-64.3	16,9	313,7	17,7	129,2	
3	HCM 2010	-11.6	1,7	4,2	2,0	31,0	HCM 2000
	HCM 2000	-4.8	1,3	3,9	2,0	20,9	
	Avustralya	-4.8	3,5	16,5	4,1	120,3	
4	HCM 2010	-40.5	1,6	3,3	1,8	31,3	HCM 2010
	HCM 2000	-32.8	3,1	13,8	3,7	146,0	
	Avustralya	-22.4	3,1	13,8	3,7	146,0	
5	HCM 2010	-6.8	1,4	3,9	2,0	22,7	HCM 2010
	HCM 2000	+2.1	1,9	5,7	2,4	31,6	
	Avustralya	+42.0	2,9	11,3	3,4	65,6	
6	HCM 2010	-7.7	1,4	3,6	1,9	19,5	HCM 2000
	HCM 2000	-7.7	0,7	1,0	1,0	14,6	
	Avustralya	+23.1	2,0	5,5	2,3	45,8	
7	HCM 2010	-16.1	0,2	0,2	0,5	5,4	HCM 2010
	HCM 2000	-29.0	0,9	1,5	1,2	21,8	
	Avustralya	+80.6	3,3	12,4	3,5	142,4	

Çizelge 4.22. Devamı.

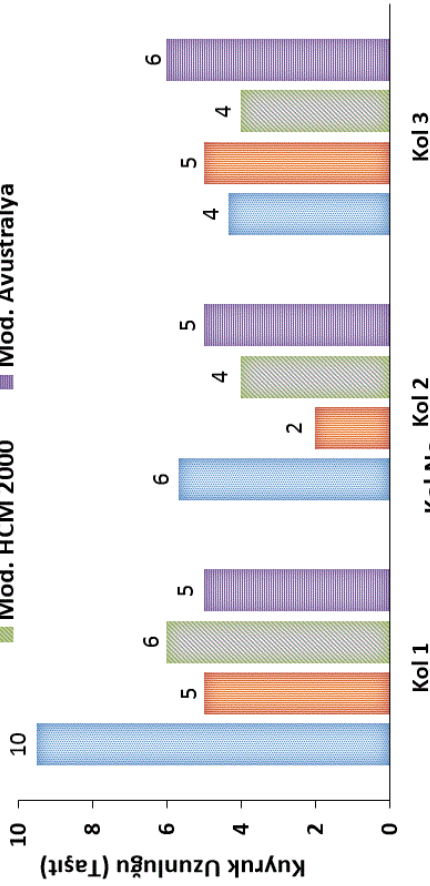
8	HCM 2010	-23.8	1,8	4,8	2,2	19,6	HCM 2000
	HCM 2000	-7.2	1,1	2,1	1,5	13,4	
	Avustralya	-17.1	1,8	6,3	2,5	18,2	
Ort.	HCM 2010	-24.6	3,2	33,6	3,6	35,2	HCM 2010
	HCM 2000	-20.0	3,1	31,2	3,6	46,7	
	Avustralya	+2.4	4,5	48,4	5,0	94,0	

Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

Çizelge 4.22 incelendiğinde ise kavşak kollarındaki kuyruk uzunluğu değerlerini hesaplamak için geliştirilen modifiye yöntemler kullanılarak elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasında seçilen üç farklı gecikme yöntemine (mevcut yöntemler) daha az hata olduğu tespit edilmiştir. Seçilen kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri içerisinde en düşük bu ortalama hata miktarı %62,1 (HCM 2000) iken önerilen modifiye yöntem için en düşük bu ortalama değer %35,2 (HCM 2010)'dir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama mutlak yüzdesel hata değerlerinin (MAPE %) incelenen sekiz kavşak için ortalaması alındığında Modifiye HCM (2010) (%35,2 hata) yönteminin gecikme hesabında olduğu gibi kuyruk uzunluğu hesabında da en düşük ortalama mutlak yüzdesel hataya sahip olan yöntem olduğu belirlenmiştir. Ayrıca seçilen mevcut yöntemlerde olduğu gibi önerilen modifiye yöntemlerinde farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı modifiye yöntemlerin daha düşük hata ile hesap yaptığı tespit edilmiştir. İncelenen kavşaklardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'de sinyalize kavşak kollarındaki kuyruk uzunluğu değerlerini, geliştirilen modifiye üç yöntem içerisinde en iyi modifiye HCM (2010) yönteminin hesapladığı belirlenmiştir. Çizelge 4.22'deki karşılaştırma sonuçları ve Şekil 4.22'deki araziden ölçülen gerçek değerler ile modifiye yöntemler kullanılarak elde edilen hesap değerleri detaylı olarak karşılaştırıldığında, gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki düşük hata miktarları önerilen gecikme yöntemlerinin Türkiye'deki sinyalize kavşaklar için gecikme hesabında olduğu gibi kuyruk uzunluğu hesabında da kullanılabilir (efektif) olduğunu ortaya koymuştur. İlerleyen bölümlerde önerilen modifiye yöntemlerin kullanılabilir olduğu yine Vissim programı kullanılarak yapılan mikro trafik simülasyonu ile gecikme hesabında olduğu gibi kuyruk uzunluğu içinde doğrulanarak programın efektif çalıştığı tespit edilmiştir.

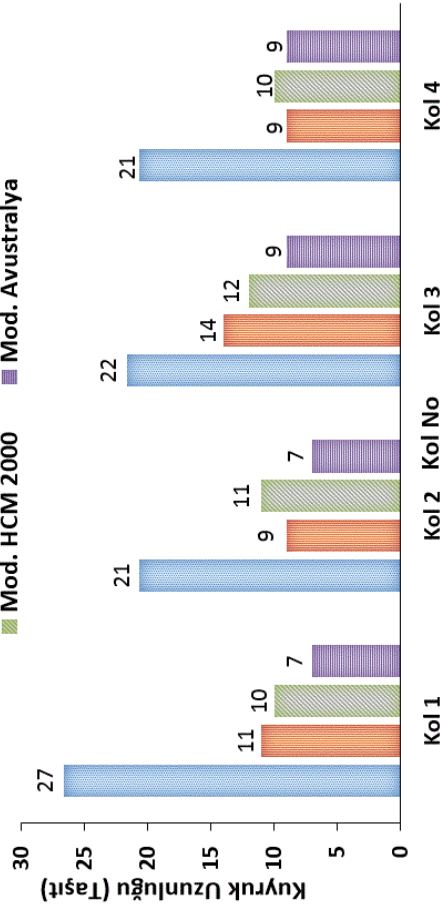
Kavşak 1

■ Ölçüm Değeri ■ Mod. HCM 2010 ■ Mod. HCM 2000 ■ Mod. Avustralya



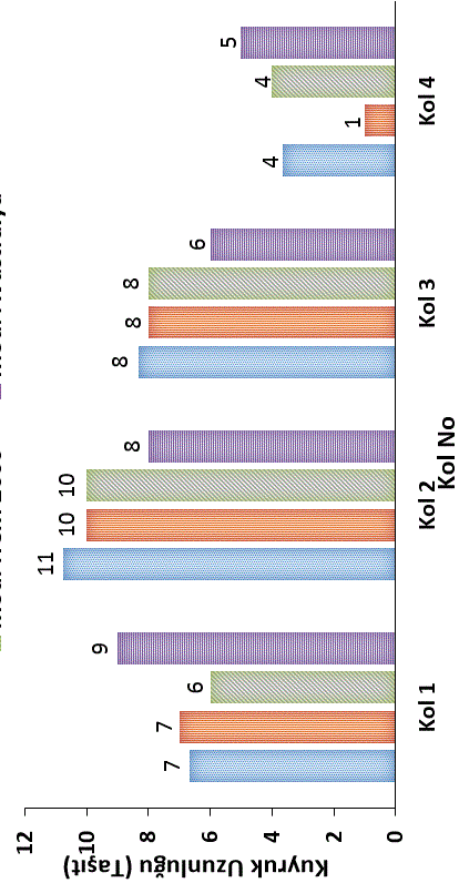
Kavşak 2

■ Ölçüm Değeri ■ Mod. HCM 2010 ■ Mod. HCM 2000 ■ Mod. Avustralya



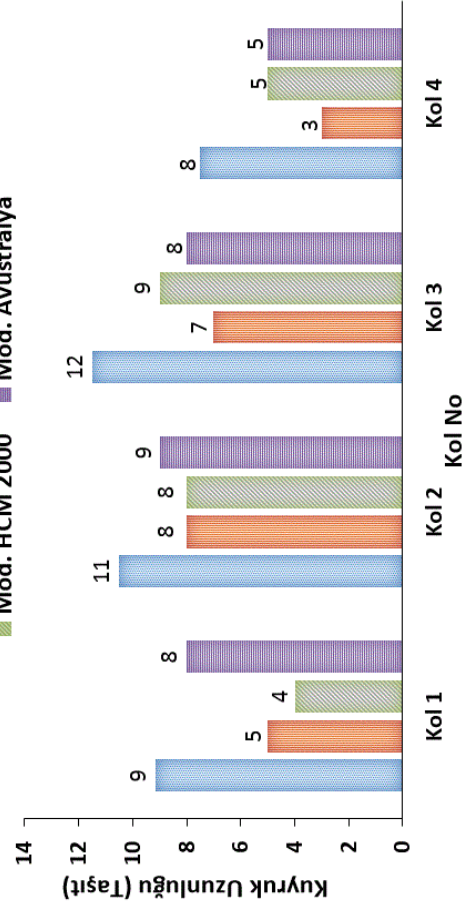
Kavşak 3

■ Ölçüm Değeri ■ Mod. HCM 2010 ■ Mod. HCM 2000 ■ Mod. Avustralya

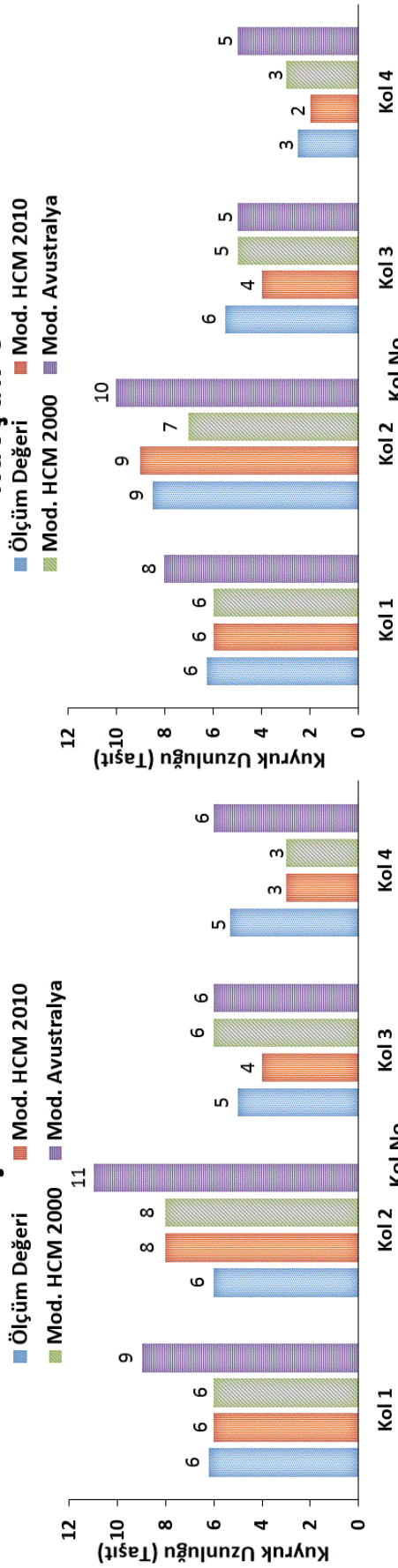


Kavşak 4

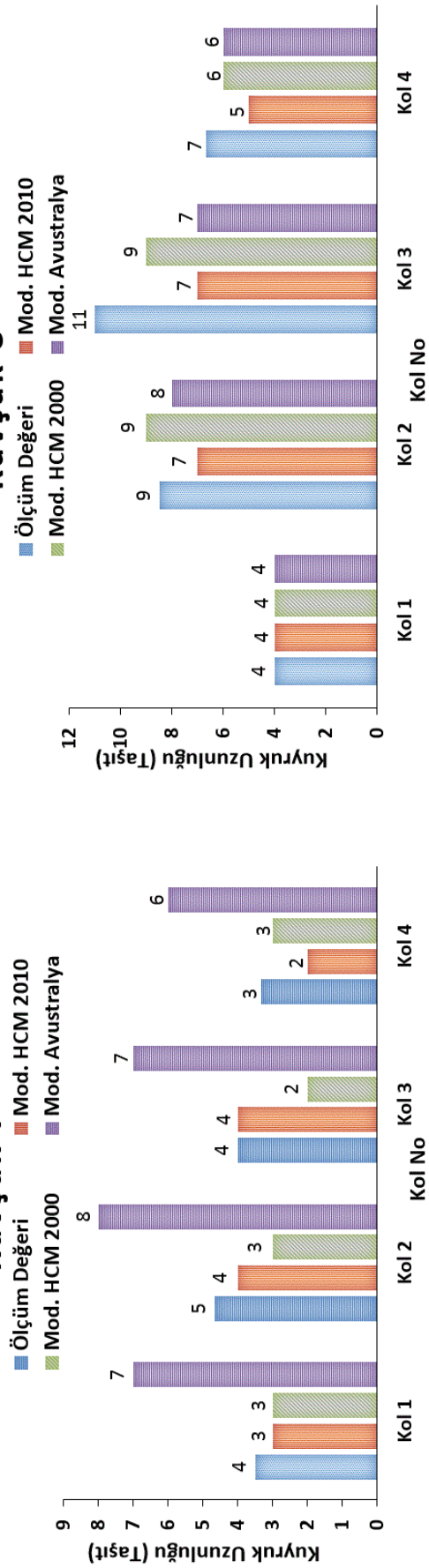
■ Ölçüm Değeri ■ Mod. HCM 2010 ■ Mod. HCM 2000 ■ Mod. Avustralya



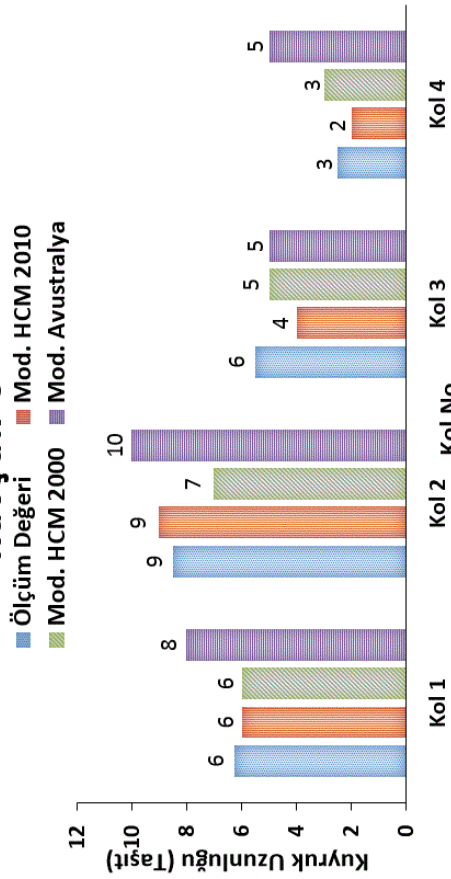
Kavşak 5



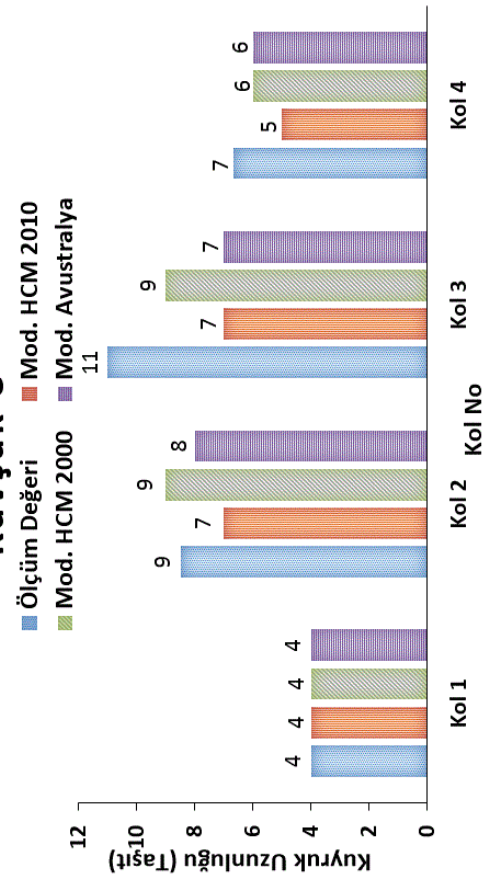
Kavşak 7



Kavşak 6



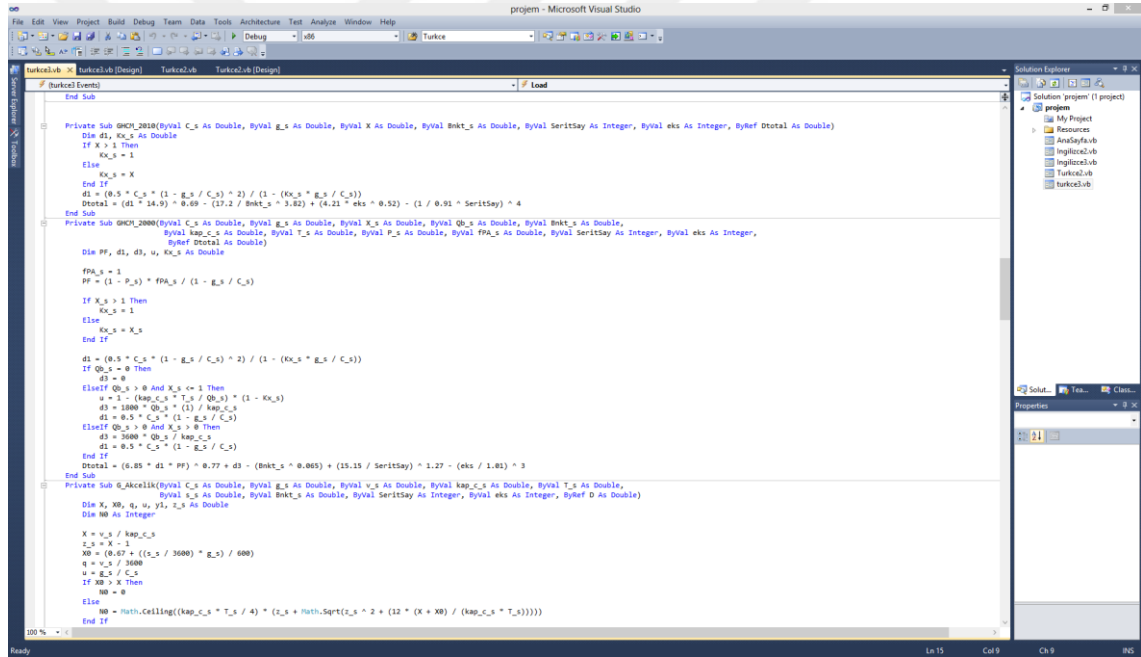
Kavşak 8



Şekil 4.22. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağına ait ölçülen ve modifiye yöntemler ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt/devre).

4.7. Geliştirilen Modifiye Denklemler Kullanarak Kavşaklardaki Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerlerini Hesaplayan Bir Program Geliştirilmesi

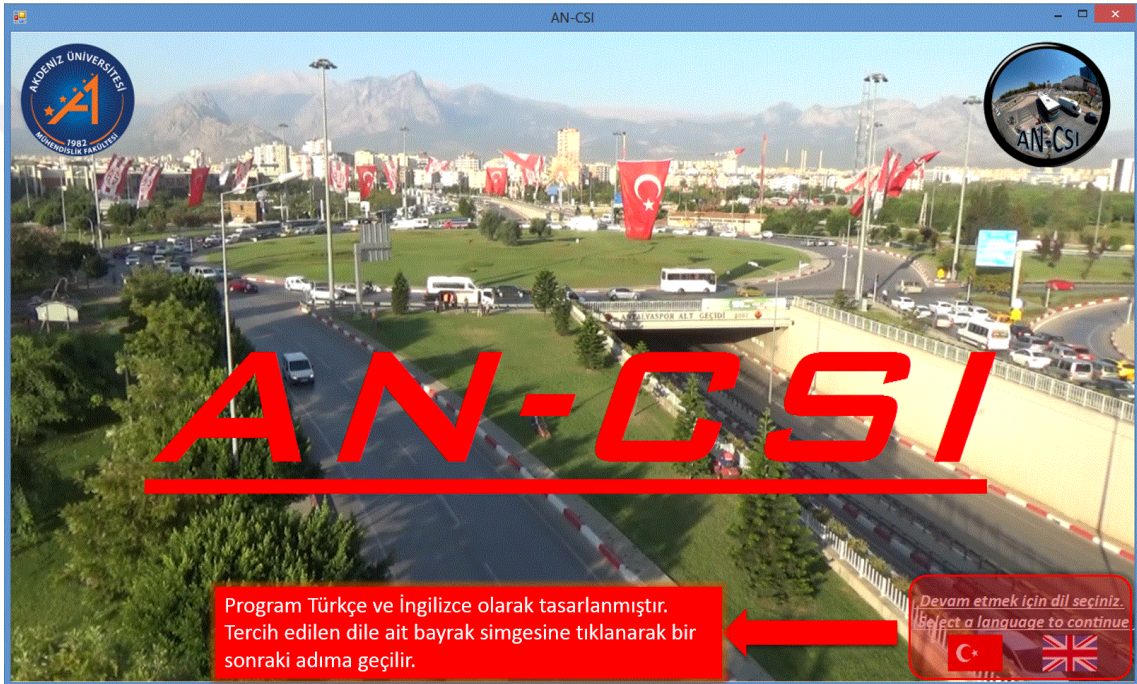
Ek şerit oluşumu ve geometri problemlerinden kaynaklı olarak kavşaklardaki taşıt hareketlerinde görülen disiplinsizliklerin olduğu kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluklarını hesaplayan bir yazılımın geliştirilmesi, geliştirilen modifiye yöntemlerin kullanılması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma ile önerilen yöntemlerin ulaştırma alanındaki araştırmacılar, plancılar ve yetkililer tarafından kullanılarak, bu kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluklarının hesaplanması, kavşakların mevcut performansları hakkında fikir elde etmek ve ona göre çözüm önerileri geliştirmek açısından oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bu sebepten dolayı hedeflenen programın geliştirilmesinde bu tez çalışması kapsamında sürdürülen BAP doktora tez projesi ile alınan Microsoft Visual Studio 2017® derleyicisi kullanılarak AN-CSI (Mevcut Sinyalize Kavşakların Analizi = Analysis of Current Signalized Intersections) isimli bir program geliştirilmiştir (Şekil 4.23). Geliştirilen bu program sorunlu kavşaklarda, önerilen yeni modifiye gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerini kullanarak sinyalize kavşaklarda gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yapmaktadır.



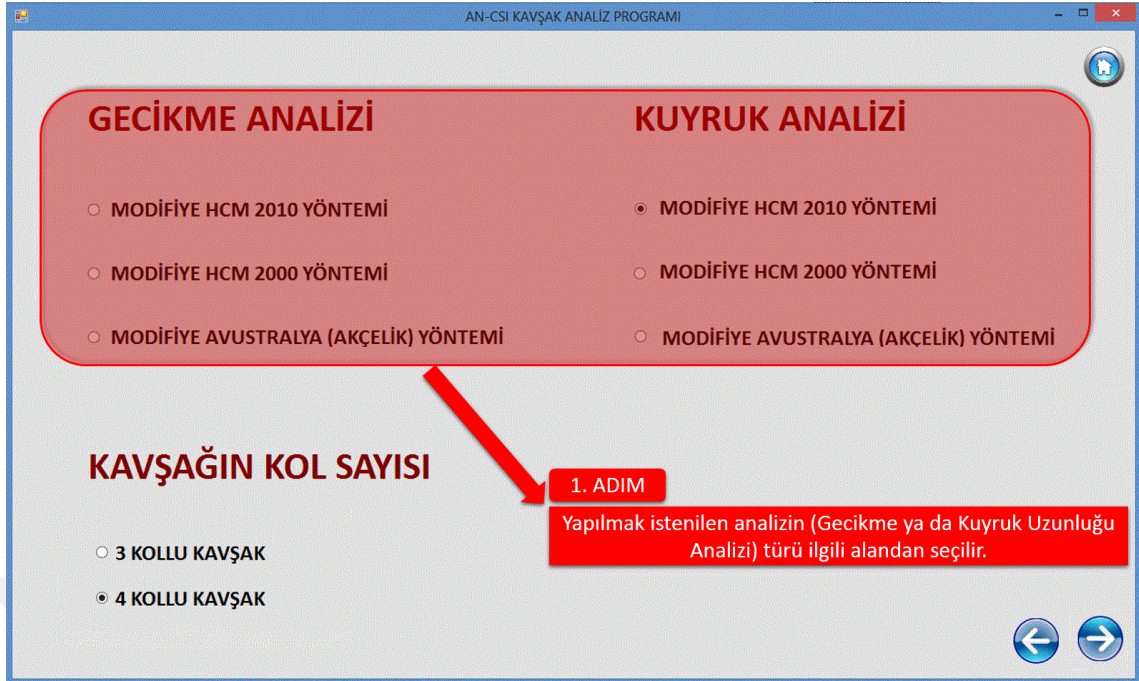
Şekil 4.23. Gecikme değeri (sn/taşıt) ve kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) hesabı yapan AN-CSI programının Microsoft Visual Studio 2017 ® kullanılarak hazırlanmasına ait örnek bir kod sayfası.

Geliştirilen bu program kullanıcılara kolay bir şekilde sorunlu kavşaklardan toplanan verileri (program içinden analizlerde kullanılması gereken veriler tanımlanmaktadır) kullanarak gecikme değeri ve kuyruk uzunluğu hesaplama olanağı sağlamaktadır. Program, Türkiye ve diğer ülkelerdeki kullanıcıların kullanabilmesi amacıyla Türkçe ve İngilizce dil paketlerine sahip olarak geliştirilmiştir. Kullanıcılar, optimizasyon analizi sonrasında önerilen modifiye gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinden dilediğini seçerek hesap yapabilmekte ve incelenen kavşaklardaki mevcut gecikme değeri ve kuyruk uzunlukları hakkında genel bir kanıya

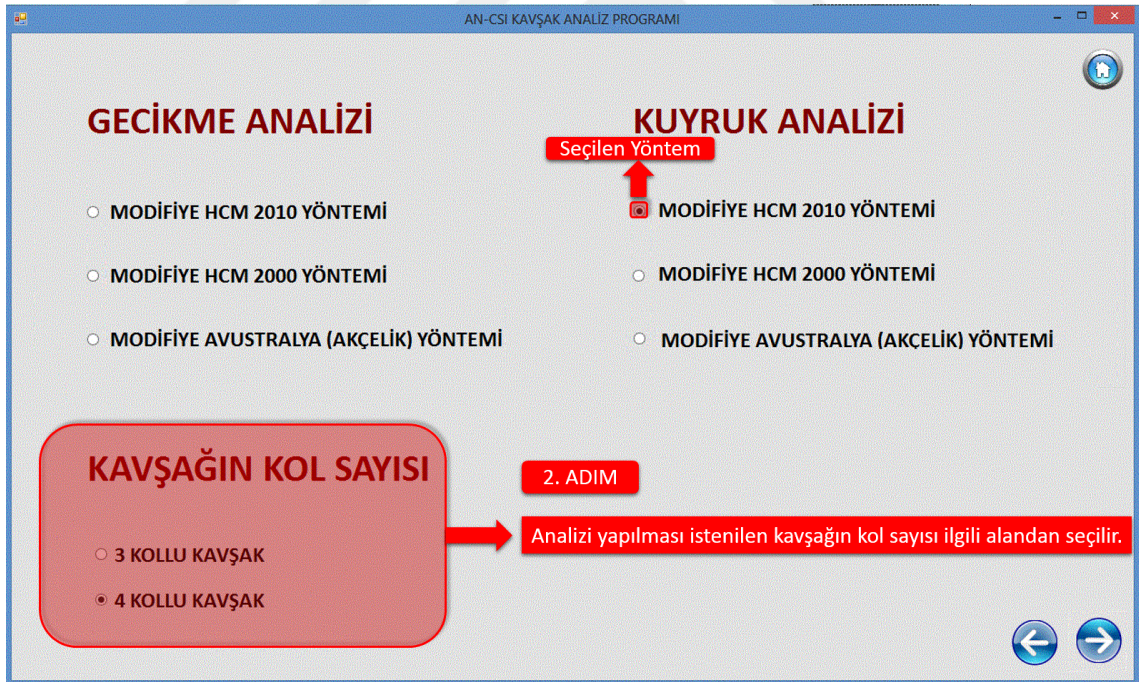
varabilmektedirler. Geliştirilen bu program (AN-CSI) yalnız şehiriçi yol ağlarında uygulamaları en çok görülen eşdüzey üç ve dört kollu sinyalize sorunlu kavşaklarda hesap yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. AN-CSI programının Türkçe ara yüzünün nasıl kullanılacağı Şekil 4.24-4.33 üzerindeki kırmızı alanlarda uygulamalı ve açıklamalı olarak anlatılmaktadır. İngilizce ara yüzünün ise nasıl kullanılacağı İngilizce anlatım ile EK 2’de verilmiştir. Programın Türkçe dil paketine göre anlatımının kullanıcılara örnek olması amacıyla Modifiye HCM 2010 kuyruk uzunluğu yöntemi seçilerek yapılmıştır. Diğer yöntemler içinde aynı işlemler yapılarak hesaplama yapılabilir. Bu çalışma kapsamında karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.21 ve 4.22’de verilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri hem elle hem de bu program yardımıyla hesaplanarak programın tüm işlevlerinin doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiş ve sonuçlardan programın sorunsuz çalıştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.24. AN-CSI programı ana sayfası.



Şekil 4.25. AN-CSI programında dil seçimi sonrasında gelen yöntem ve kavşak türü seçim ekranı.



Şekil 4.26. AN-CSI programında yöntem türü ve kavşak kol sayısının seçilmesi.



Şekil 4.27. Ana sayfaya dönmek ya da bir önceki sayfaya gitmek için yapılması gereken işlemler.



Şekil 4.28. Yöntem ve kavşak türünün seçilmesi ile sonrasında hesaplama sayfasına geçilmesi.

AN-CSI KAVŞAK ANALİZ PROGRAMI

Modifiye HCM 2010 Yöntemine Göre Kuyruk Uzunluğu Analizi

	C	g	a	S	P	r	Spl	EKS	SS	PW	Kuyruk Uzunluğu
			Efektif Yeşil Süre (sn)								
Kol 1											
Kol 2											
Kol 3											
Kol 4											

HESAPLA YENİ HESAP

4. ADIM

Seçilen verilere ait form ekranı sisteme program tarafından yüklenir ve kullanıcı verileri hücelere girer.

Şekil 4.29. Seçilen yöntemle hesaplama yapabilmek için doldurulması gereken alanlar.

AN-CSI KAVŞAK ANALİZ PROGRAMI

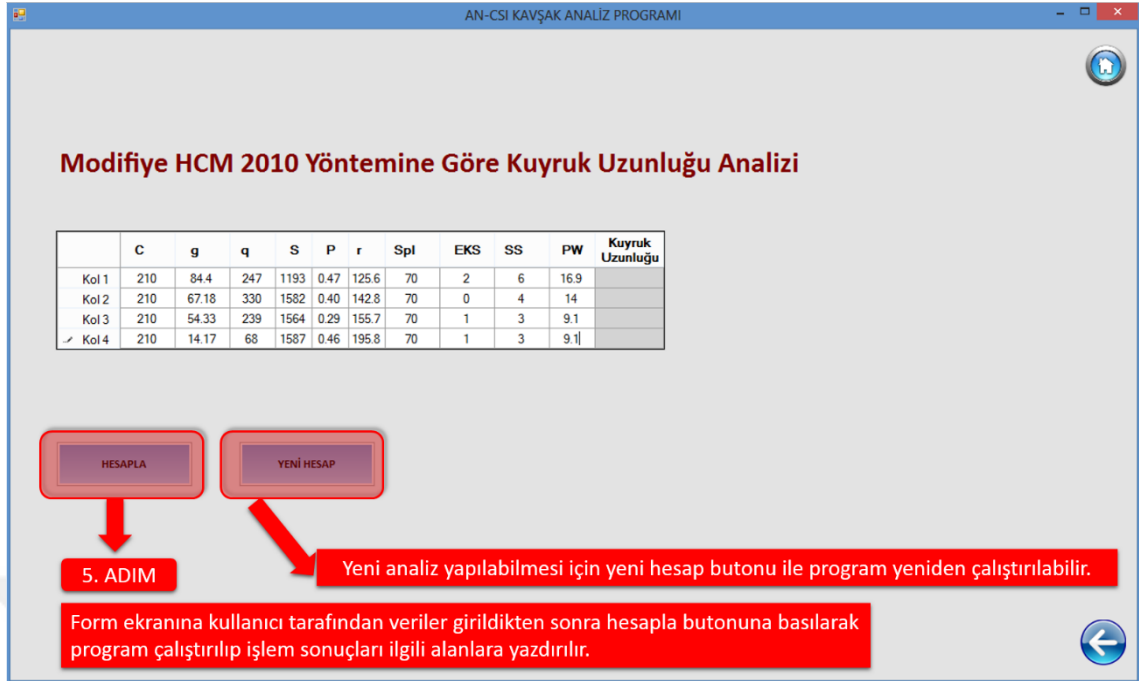
Modifiye HCM 2010 Yöntemine Göre Kuyruk Uzunluğu Analizi

	C	g	a	S	P	r	Spl	EKS	SS	PW	Kuyruk Uzunluğu
			Efektif Yeşil Süre (sn)								
Kol 1											
Kol 2											
Kol 3											
Kol 4											

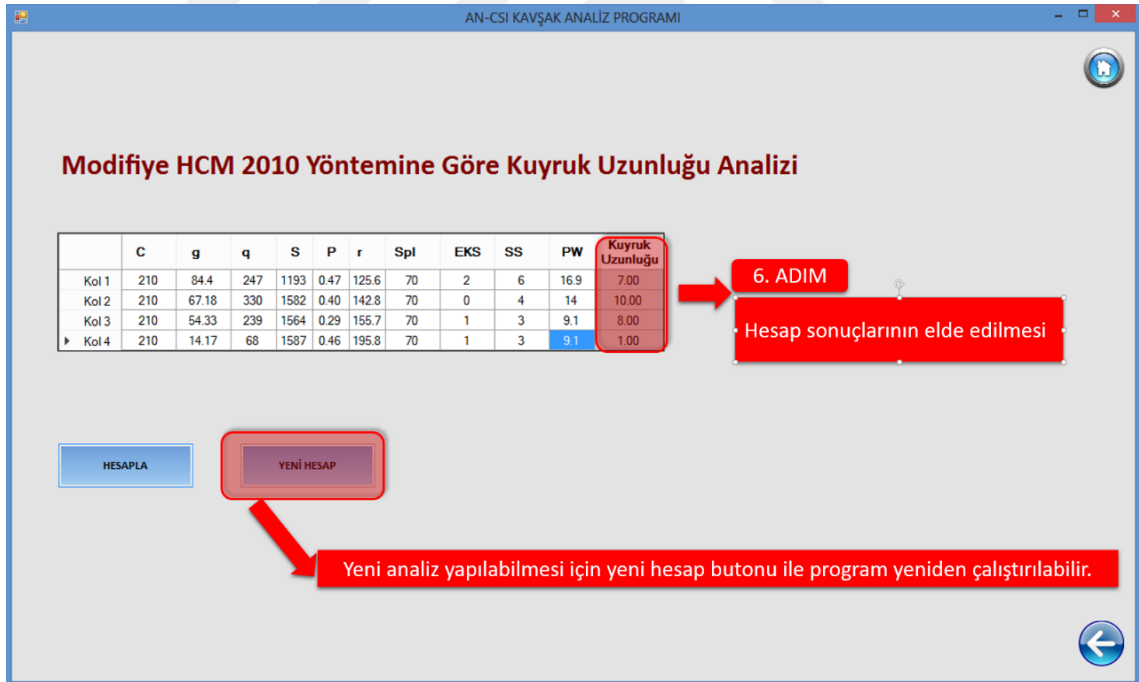
HESAPLA YENİ HESAP

Kullanıcı verileri girerken fare ile üzerine geldiği veri başlığının açıklamasını (birimleriyle birlikte) görüntüleyebilmektedir.

Şekil 4.30. Kullanıcıların ilgili hücreleri doldurmadan önce girmesi gereken veriler ve bu verilerin birimleri hakkında bilgi alması.

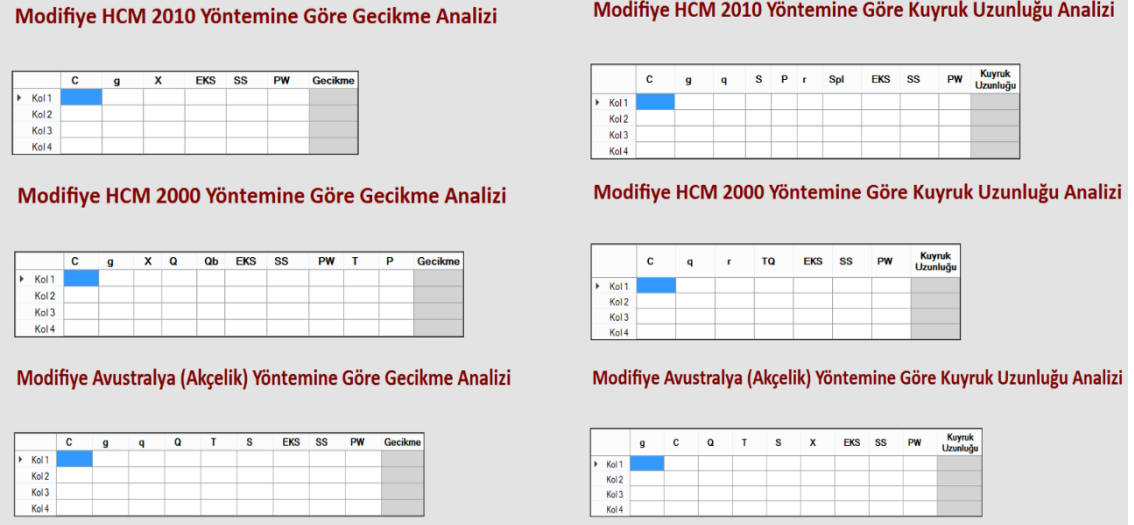


Şekil 4.31. Analiz için gerekli tüm hücrelerin doldurulması (verilerin girilmesi) ve hesaplama işlemine geçilmesi.



Şekil 4.32. Hesaplama sonuçlarının elde edilmesi.

Programın tanıtımı Modifiye HCM 2010 yöntemine göre kuyruk uzunluğu analizi seçilerek yapılmış olup Adım 3'te seçilecek yöntemle göre aşağıda örnekleri bulunan ilgili form ekranları sisteme yüklenecektir. Kullanıcılar ilgili alanları doldurarak analiz yapabileceklerdir.

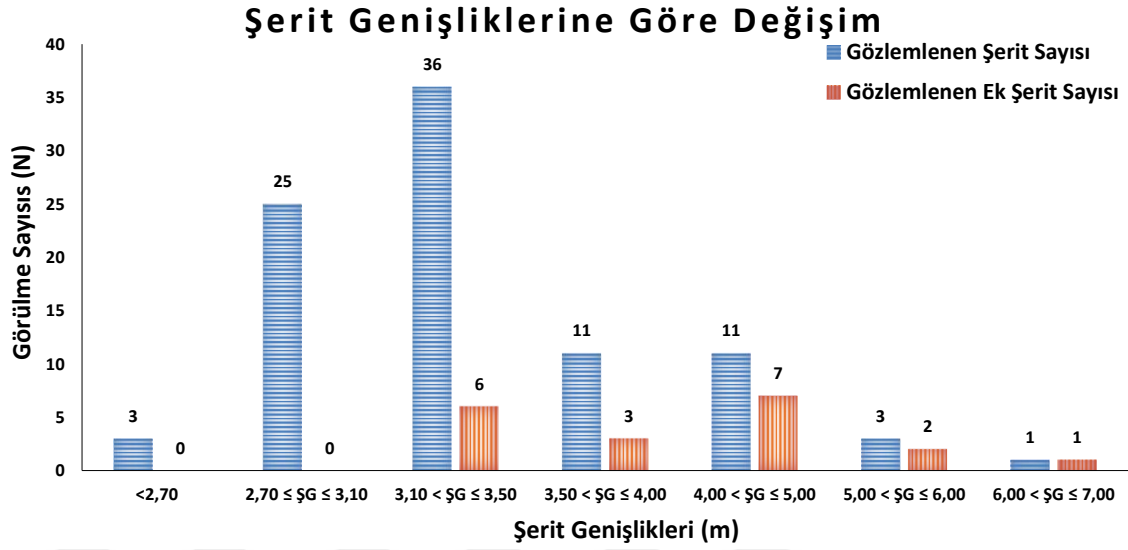


Şekil 4.33. Seçilecek farklı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerine göre görüntülenecek hücrelere ait görsellerin aynı ekran üzerinde gösterimi.

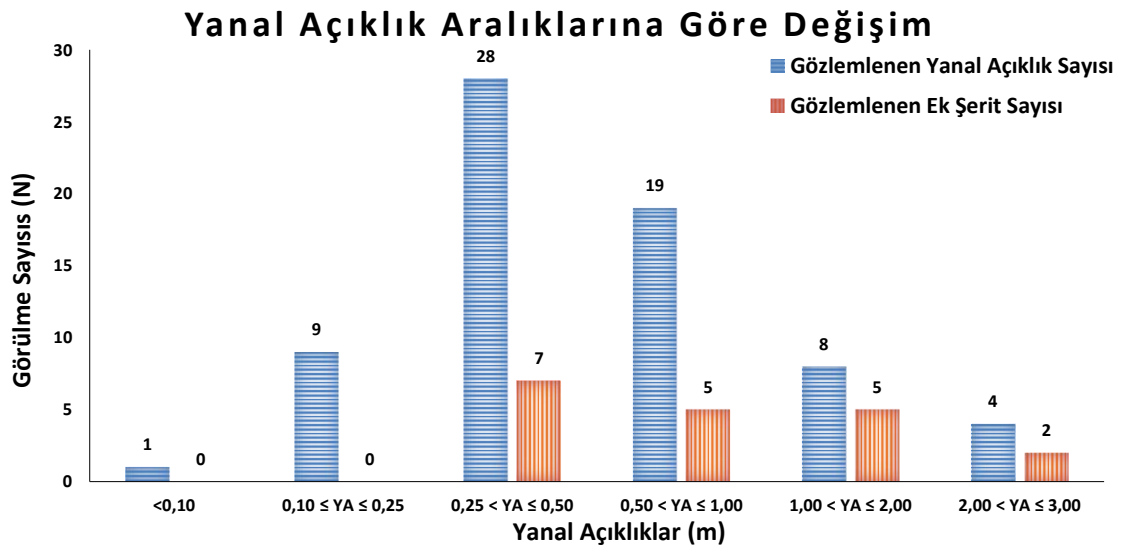
4.8. Geliştirilen Modifiye Denklemleri Kullanarak Kavşaklar için Yeni Geometrik Tasarım Yapan ve Bu Yeni Tasarıma Göre Kavşaklarda Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Hesaplayan Bir Program Geliştirilmesi

Yapılan saha gözlemleri kapsamında incelenen sekiz farklı sinyalizasyon kavşağına ait toplam 31 kolun 17'sinde ek şerit oluşumunun görüldüğü tespit edilmiştir. Bu da incelenen toplam kavşak kollarının yaklaşık olarak yarısından fazlasında (%55) ek şerit oluşumunun meydana geldiğini göstermektedir. Bu durumu önemli kılan husus ise ek şerit oluşumunun özellikle incelenen yol ağı üzerinde bulunan ve yüksek trafik akımlarının bulunduğu 1 ve 2 numaralı kollarda daha çok meydana gelmesidir. Yapılan saha incelemelerinden, kavşak kollarındaki yanal açıklıkların ve şerit genişliklerinin fazla olmasının, kavşak kollarında illegal ek şerit oluşumuna ve taşıtların bu ek şeritlere geçme hevesiyle kavşak girişlerinde kazalara sebep olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında sinyalizasyon kavşak kollarındaki mevcut geometriyi (platform genişliği) kullanarak o kol için en uygun şerit sayısı ve şerit genişliği tasarımı yaparak bu yeni tasarıma göre gecikme değeri ve kuyruk uzunluğu hesabı yapan bir programın geliştirilmesi, belirtilen tüm bu sorunların çözümüne önemli bir katkı sağlayacaktır. Fakat bu geometrik tasarım sırasında dikkat edilmesi gereken önemli husus, geometrik tasarımda kullanılacak ve tüm taşıt türlerinin kavşaklarda güvenli şekilde hareketini sağlayacak şerit genişlikleri, şerit sayısı ve yanal açıklıklara ait limit değerlerin doğru belirlenmesidir. Bu limit değerleri belirleyebilmek amacıyla Zheng vd. (2015)'in şehiriçi yollardaki şerit genişliği aralıkları için yaptığı sınıflandırma temel alınarak, incelenen dokuz farklı kavşak kollarındaki mevcut durumlar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda kavşak kollarında farklı şerit genişliği aralıklarına göre gözlemlenen şerit sayısı ve ek şerit sayısına ait bilgiler Şekil 4.34'te; farklı yanal açıklık aralığına göre gözlemlenen yanal açıklık ve ek şerit sayıları Şekil 4.35'te verilen şekilde elde edilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere şerit çizgisi ve yanal açıklık

mesafelerinin hesaplanmasında karmaşaya sebep olmamak için tüm ölçümler ve analizler çizgiler arası net mesafe dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 4.34. İncelenen dokuz farklı kavşak için farklı şerit genişliği (ŞG) aralıklarına göre gözlemlenen şerit sayısı.



Şekil 4.35. İncelenen dokuz farklı kavşak için kavşak kollarındaki yanal açıklıkların (YA) değişimi.

Yapılan analizlerden incelenen kavşak kollarındaki tüm şeritler için ortalama şerit genişliğinin 3,5 m ve ortalama yanal açıklıkların ise 0,73 m olduğu hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, kavşaklardaki şerit genişliği ve yanal açıklık sorununu çözmek için önerilecek şerit genişlikleri ve yanal açıklıkların ek şerit oluşumunu teşvik eden bu değerlerden küçük olması gerektiğini göstermektedir. Şekil 4.34 detaylı olarak incelendiğinde kavşaklardaki mevcut şerit genişliği aralıklarının en çok 3,10 < ŞG ≤ 3,5 metre aralığında olduğu görülmüştür. Yapılan saha gözlemlerinden bu aralıktaki şerit genişliklerinin olduğu kavşak kollarında ek şerit oluşumun başladığı ve özellikle geniş yanal açıklıkların bulunması durumunda kesinlikle ek şerit oluşumunun görüldüğü tespit

edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında yapılacak tüm analizlerde, şerit genişliği tasarımında tüm taşıtların güvenli şekilde hareket edebileceği (çizgiler arası net mesafe) ve $3,10 < \text{ŞG} < 3,5$ aralığından bir önceki aralık olan ve herhangi bir ek şerit oluşumu görülmeyen 2,7 m ile 3,1 m aralığı güvenli aralık değeri olarak seçilmiştir. Yanal açıklıklar için durum incelendiğinde ise, mevcut yanal açıklıkların en çok 0,25 ile 0,50 aralığında olduğu ve yapılan gözlemlerden bu aralıklardaki açıklıkların sürücülerini illegal bir ek şerit oluşturma konusunda teşvik ettiği belirlenmiştir. Dolayısıyla şerit genişliğinde olduğu gibi en çok görülen aralıktan bir önceki aralık olan ve herhangi bir ek şerit oluşumu görülmeyen $0,10 < \text{YA} < 0,25$ aralığı seçilmiş ve geliştirilecek tasarım programında bu aralık değerleri güvenli yanal açıklıklar olarak kullanılmıştır. Özetle yapılan analiz ve saha gözlemlerinden kavşak kollarında taşıtların güvenli şekilde hareket edebilmesini sağlayacak ve illegal ek şerit oluşumunu engelleyecek şerit genişliği (ŞG) ve yanal açıklık (YA) değerleri için aşağıda verilen sınır değerler belirlenmiştir.

$2,70 \text{ m} \leq \text{ŞG} \leq 3,10 \text{ m}$ (Çizgi kalınlıkları hariç net mesafe)

$0,10 \text{ m} \leq \text{YA} \leq 0,25 \text{ m}$ (Çizgi kalınlıkları hariç net mesafe)

Bu tez çalışmasının ana amaçlarından birisi olan ve kavşaklardaki geometrik disiplinsizliği önleyerek yeni geometrik tasarımlar yapan ve geliştirilen modifiye yöntemleri kullanarak bu yeni tasarımlara özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yapan DE-INT (Kavşakların Tasarımı=Design of Intersections) isimli bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen bu program AN-CSI programının geliştirilmesinde olduğu gibi Microsoft Visual Studio 2017 ® derleyicisi kullanarak hazırlanmıştır. Geliştirilen DE-INT programı ile ulaşım plancıları, araştırmacılar ve yetkililer kavşak kollarındaki mevcut geometriye göre yeni kavşak tasarımı yapabileceklerdir. Bu program özetle kavşak kollarındaki mevcut geometriyi (platform genişliğini) şerit sayısı, şerit genişliği ve yanal açıklık hesabında kullanmakta ve ek şerit oluşturmada yeni şerit sayısı, şerit genişliği ve yanal açıklık değerleri önermektedir. Fakat burada dikkat çekilmesi gereken ana husus, tasarımda asla ek bir uzunluğa ihtiyaç duyulmamakla birlikte yeni tasarım sonrası artan bir mesafe olabilmekte ve artan bu mesafenin kaldırıma ya da refüje eklenmesi program tarafından önerilmektedir. Geliştirilen bu program ayrıca önerilen platform genişliği, şerit genişliği, şerit sayısı ve yanal açıklığa göre olması beklenen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini, geliştirilen modifiye denklemleri kullanarak tahmin etmektedir. DE-INT programı, AN-CSI programında olduğu gibi Türkiye ve diğer ülkelerdeki kullanıcıların kullanabilmesi amacıyla Türkçe ve İngilizce dil paketlerine sahip olarak geliştirilmiştir. İngilizce ara yüzünün nasıl kullanılacağı ise İngilizce anlatım ile EK 3'te verilmiştir. Yine bu programda kullanıcılar önerilen modifiye gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerinden dilediğini seçerek hesap yapabilmekte ve incelenen kavşaklardaki önerilen yeni tasarıma göre görülmesi beklenen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini hesaplayabilmektedir. Bu program ile kullanıcılar ayrıca sinyalizasyon olmayan (üç kollu, dört kollu ve dönel) kavşak kolları için yalnız geometri tasarımı da yapabilmektedirler. Geliştirilen bu DE-INT programının nasıl kullanılacağı ise Şekil 4.36-4.48 üzerinde uygulamalı olarak anlatılmaktadır. Bu anlatımdaki görseller sadece önerilen Modifiye HCM 2010 kuyruk uzunluğu yöntemi seçilerek yapılmış olup diğer yöntemler içinde aynı işlemler adımları ile hesaplama yapılabilmektedir.



Şekil 4.36. DE-INT programı ana sayfa.



Şekil 4.37. Ana sayfada dil seçimi sonrasında gelen kavşak türü, kol sayısı ile yöntem seçim ekranı ve kavşak türünün seçilmesi işlemi.



Şekil 4.38. DE-INT programında kavşak kol sayısının seçilmesi.



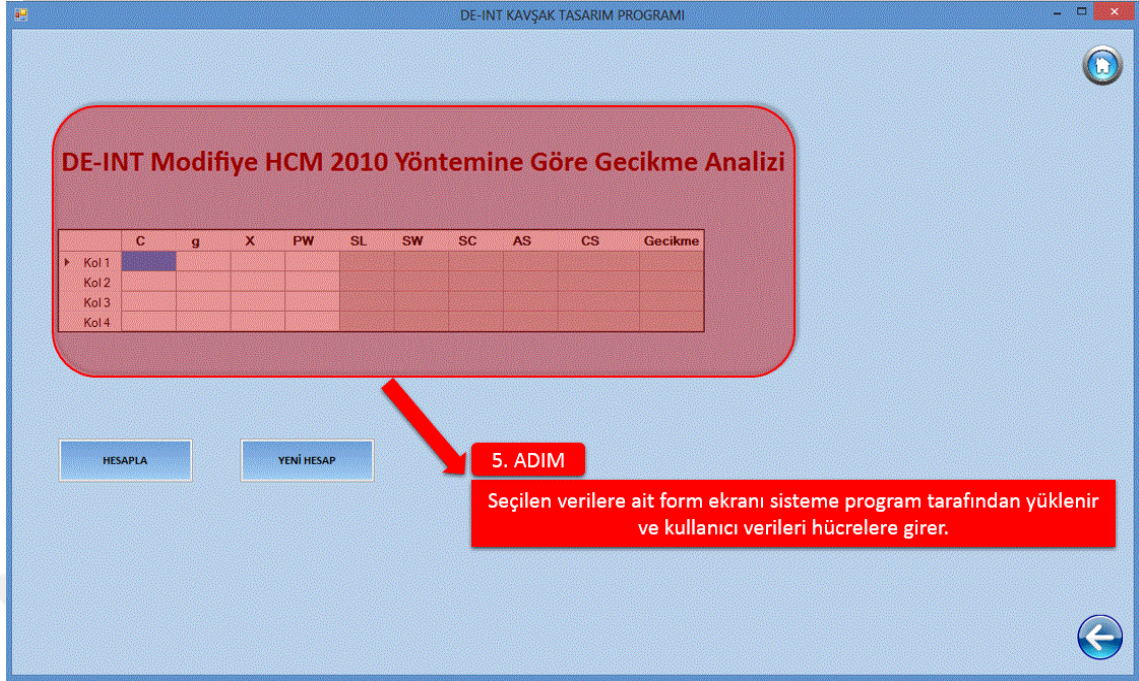
Şekil 4.39. DE-INT programında hesaplamalarda kullanılacak yöntemin seçilmesi.



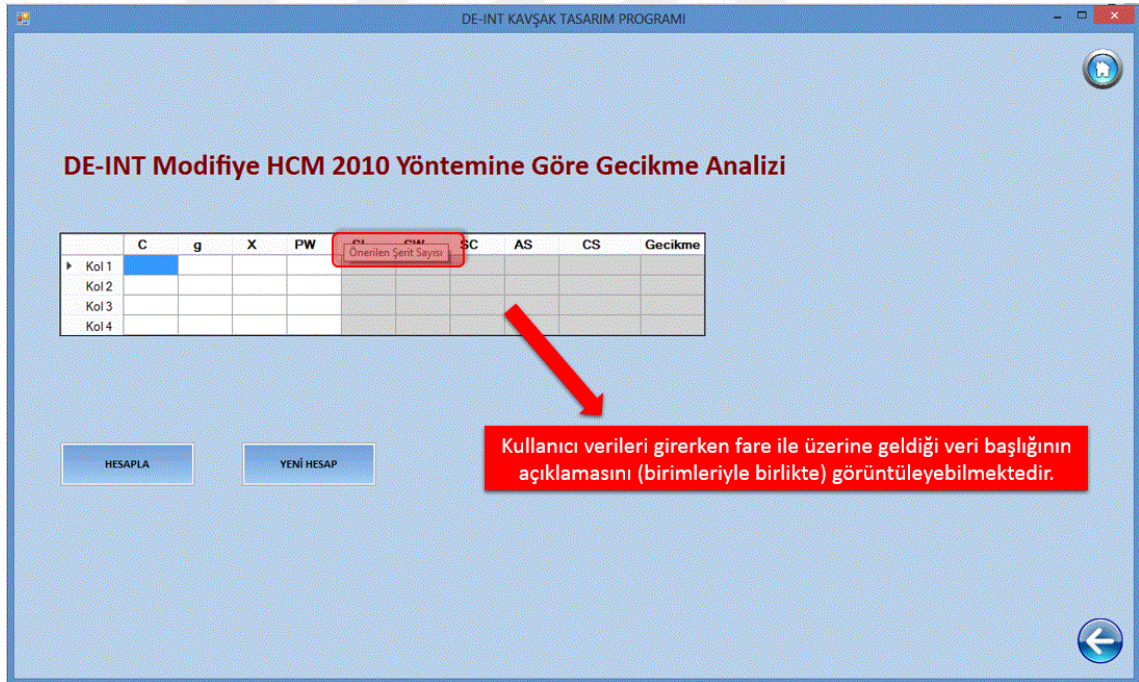
Şekil 4.40. Ana sayfaya dönmek ya da bir önceki sayfaya gitmek için yapılması gereken işlemler.



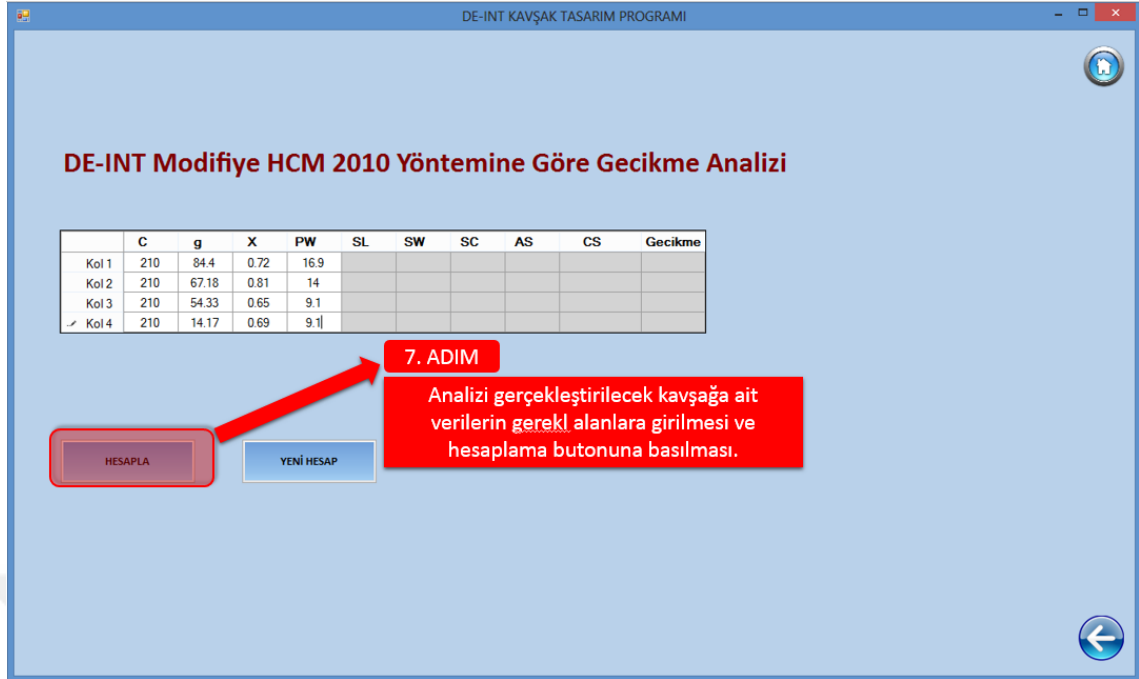
Şekil 4.41. Kavşak türü, kol sayısı ve yöntemin seçilmesi sonrasında hesaplama sayfasına gidilmesi.



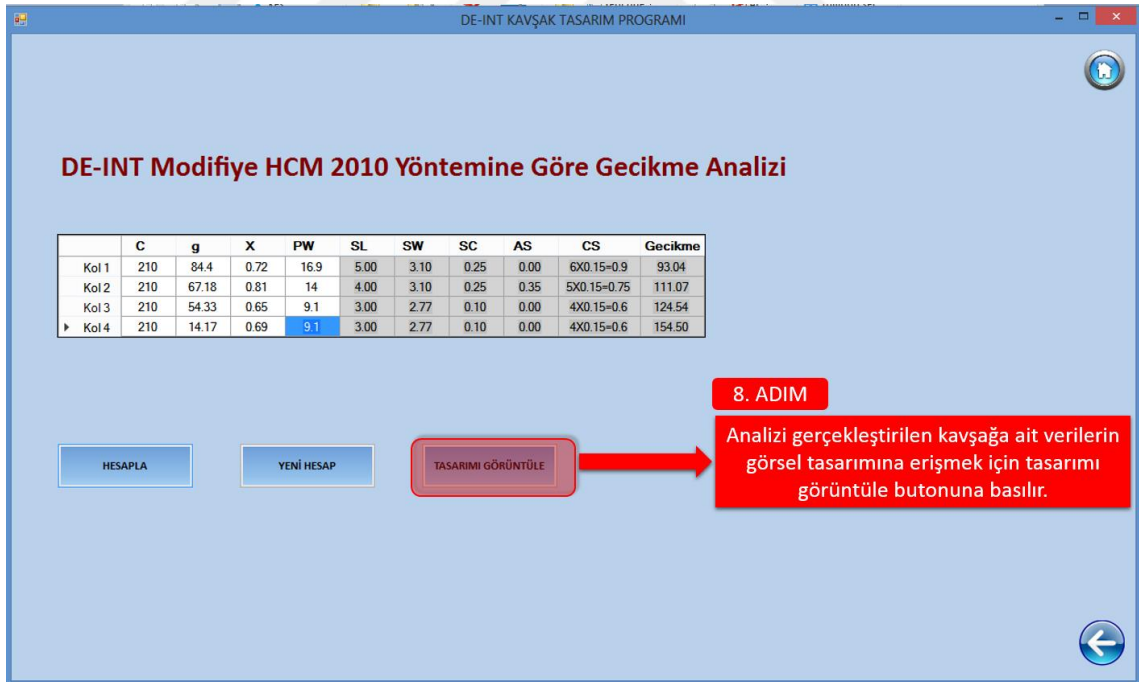
Şekil 4.42. Seçilen yöntemle hesaplama yapabilmek için doldurulması gereken alanlar.



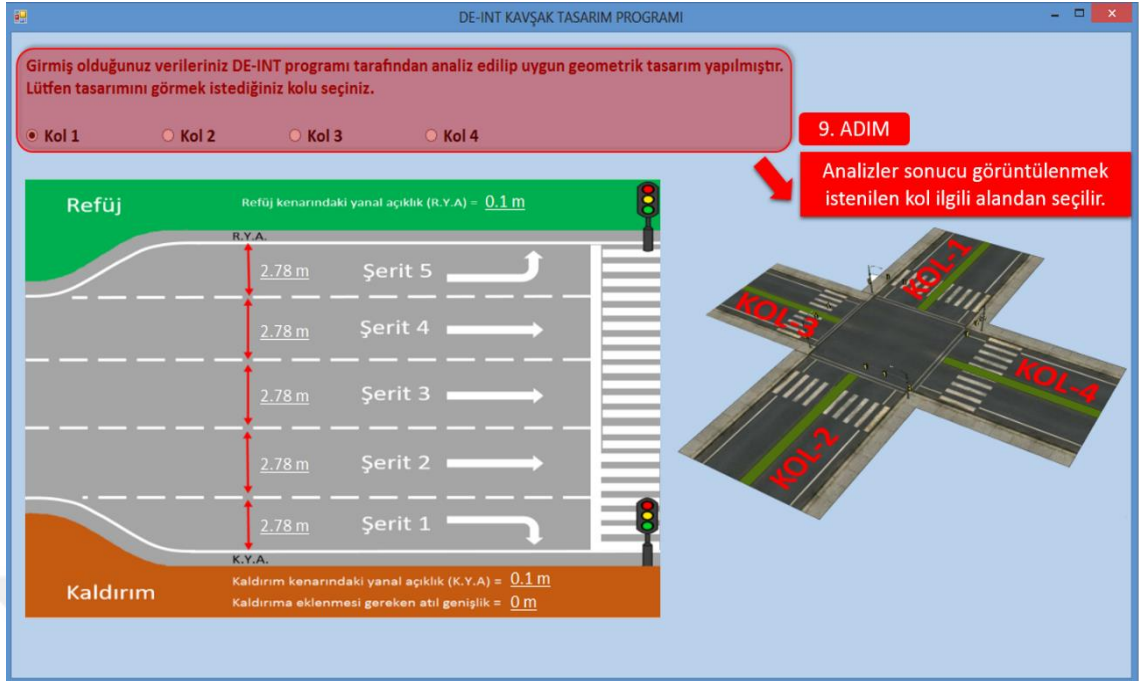
Şekil 4.43. Kullanıcıların ilgili hücreleri doldurmadan önce girmesi gereken veriler ve bu verilerin birimleri hakkında bilgi alması.



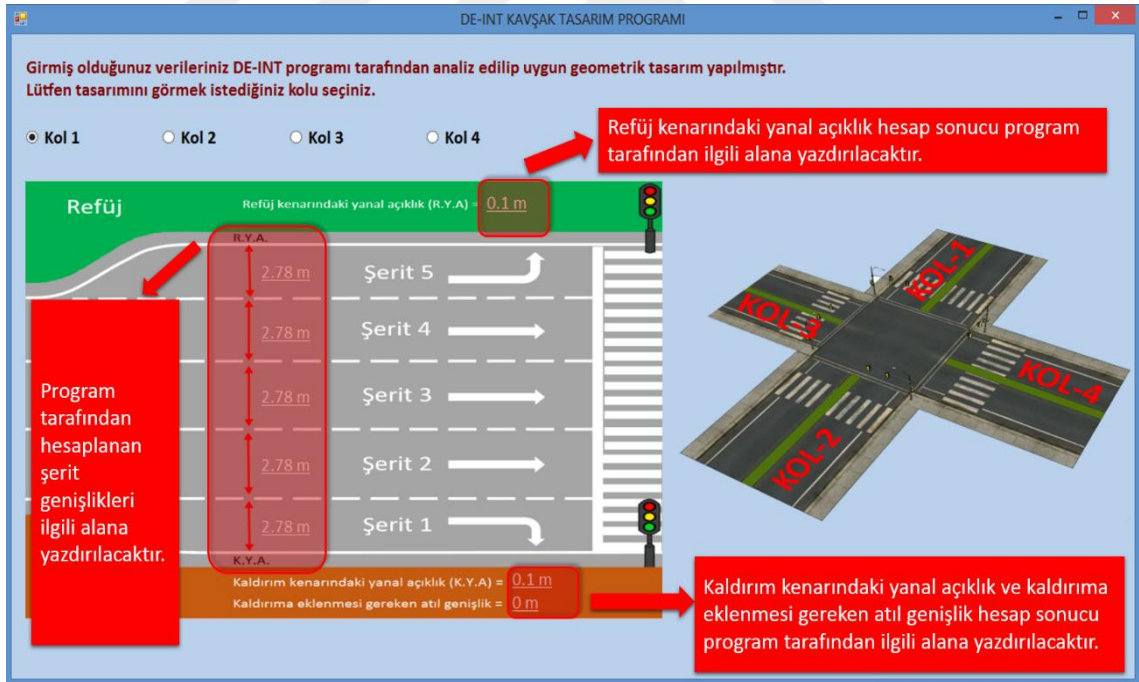
Şekil 4.44. Analiz için gerekli tüm hücrelerin doldurulması ve hesaplama işlemine geçilmesi.



Şekil 4.45. Hesap sonuçlarının elde edilmesi ve program tarafından önerilen tasarımın görüntülenmesi.



Şekil 4.46. Program tarafından önerilen tasarımın her bir kola özgü olarak geometrik ölçüleriyle birlikte görüntülenmesi.



Şekil 4.47. Görüntülenen kavşak tasarımına ait geometrik ölçülerin neler olduğunun tespiti.

Programın tanıtımı Modifiye HCM 2010 yöntemine göre gecikme analizi seçilerek yapılmış olup Adım 3'te seçilecek yönteme göre aşağıda örnekleri bulunan ilgili form ekranları sisteme yüklenecektir. Kullanıcılar ilgili alanları doldurarak analiz yapabileceklerdir.

DE-INT Modifiye HCM 2010 Yöntemine Göre Gecikme Analizi

	C	g	X	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Gecikme
Kol 1										
Kol 2										
Kol 3										
Kol 4										

DE-INT Modifiye HCM 2010 Yöntemine Göre Kuyruk Uzunluğu Analizi

	C	g	q	S	P	r	Spl	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Kuyruk Uzunluğu
Kol 1														
Kol 2														
Kol 3														
Kol 4														

DE-INT Modifiye HCM 2000 Yöntemine Göre Gecikme Analizi

	C	g	X	Q	Qb	PW	T	P	SL	SW	SC	AS	CS	Gecikme
Kol 1														
Kol 2														
Kol 3														
Kol 4														

DE-INT Modifiye HCM 2000 Yöntemine Göre Kuyruk Uzunluğu Analizi

	C	q	r	TQ	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Kuyruk Uzunluğu
Kol 1											
Kol 2											
Kol 3											
Kol 4											

DE-INT Modifiye Avustralya (Akçelik) Yöntemine Göre Gecikme Analizi

	C	g	q	Q	T	S	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Gecikme
Kol 1													
Kol 2													
Kol 3													
Kol 4													

DE-INT Modifiye Avustralya (Akçelik) Yöntemine Göre Kuyruk Uzunluğu Analizi

	g	C	Q	T	S	X	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Kuyruk Uzunluğu
Kol 1													
Kol 2													
Kol 3													
Kol 4													

DE-INT'e Göre Sinyalize Olmayan Kavşak Analizi

	PW	SL	SW	SC	AS	CS
Kol 1						
Kol 2						
Kol 3						
Kol 4						

DE-INT'e Göre Sinyalize Olmayan Dönel Kavşak Analizi

	PW	SL	SW	SC	AS	CS
Kol 1						
Kol 2						
Kol 3						
Kol 4						

Şekil 4.48. Seçilecek farklı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerine göre görüntülenecek hücrelere ait görsellerin tek bir ekran üzerinde gösterimi.

4.9. Mevcut Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri ile DE-INT Programı ile Önerilen Değerlerin Karşılaştırılması

DE-INT programı ile kavşak kollarında hem yeni geometrik düzenlemeler önerilmiş ve bu geometrik özellikler ile geliştirilen üç farklı modifiye gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemi kullanılarak gecikme ve kuyruk uzunluğu hesaplamaları yapılmıştır. DE-INT programı ile yapılan analizlerden elde edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri ile karşılaştırılarak hata miktarları ve arazi ölçümünden elde edilen değere göre değişimin miktarı gecikme için Çizelge 4.23, kuyruk uzunluğu içinse Çizelge 4.24'te verilmiştir. Gecikme karşılaştırmalarında kullanılan ve incelenen her bir kavşağa ait gözlem ve hesap sonuçları Şekil 4.49'da, kuyruk uzunluğuna ait bu değerler ise Şekil 4.50'de detaylı olarak verilmiştir.

Ayrıca çalışma kapsamında tüm kavşaklar için DE-INT programı kullanılarak yapılan geometrik analizlerden incelenen her bir sinyalize (sekiz adet) ve sinyalize olmayan (bir adet) toplam dokuz farklı kavşak için elde edilen (program tarafından önerilen) geometrik verilere ait sonuçlar ise Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. DE-INT programı ile önerilen ve gerçek gecikme değerlerinin (sn/taşıt) karşılaştırılması.

Kavşak No	<u>Modifiye</u> Yöntem Adı	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	En İyi <u>Modifiye</u> Yöntem
1	HCM 2010	-17,0	15,3	453,5	21,3	16,7	Avustralya
	HCM 2000	-18,8	15,2	480,1	21,9	16,3	
	Avustralya	+4,2	10,4	109,3	10,5	13,2	
2	HCM 2010	-12,6	13,1	232,6	15,3	12,2	HCM 2010
	HCM 2000	-17,4	18,1	396,1	19,9	16,8	
	Avustralya	-14,3	15,2	304,9	17,5	13,9	
3	HCM 2010	+4,5	16,9	530,2	23,0	15,5	HCM 2010
	HCM 2000	-16,2	18,1	403,4	20,1	16,6	
	Avustralya	-24,2	26,9	798,0	28,2	23,8	
4	HCM 2010	-0,2	4,3	32,9	5,7	3,9	HCM 2010
	HCM 2000	-5,3	6,8	52,6	7,3	6,5	
	Avustralya	-12,0	20,4	591,5	24,3	18,9	
5	HCM 2010	-2,2	3,1	13,1	3,6	3,2	HCM 2010
	HCM 2000	+1,1	8,5	97,8	9,9	8,6	
	Avustralya	-15,3	15,9	350,3	18,7	15,8	
6	HCM 2010	+2,1	4,2	30,7	5,5	4,3	HCM 2010
	HCM 2000	+6,4	7,7	117,8	10,9	7,7	
	Avustralya	-8,4	13,9	260,8	16,2	14,4	
7	HCM 2010	+1,3	5,2	40,1	6,3	10,0	HCM 2010
	HCM 2000	+13,0	7,1	75,5	8,7	13,8	
	Avustralya	+48,7	25,7	726,2	26,9	51,1	

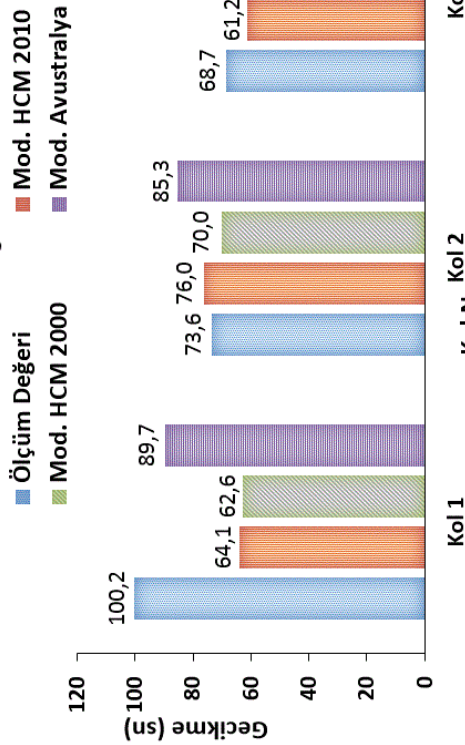
Çizelge 4.23. Devamı.

8	HCM 2010	-8,6	9,7	123,9	11,1	10,9	Avustralya
	HCM 2000	-7,4	16,4	310,7	17,6	19,2	
	Avustralya	+10,0	8,5	112,8	10,6	10,8	
Ort.	HCM 2010	-4,1	9,0	182,1	11,5	9,6	HCM 2010
	HCM 2000	-5,6	12,2	241,8	14,5	13,2	
	Avustralya	-1,4	17,1	406,8	19,1	20,2	

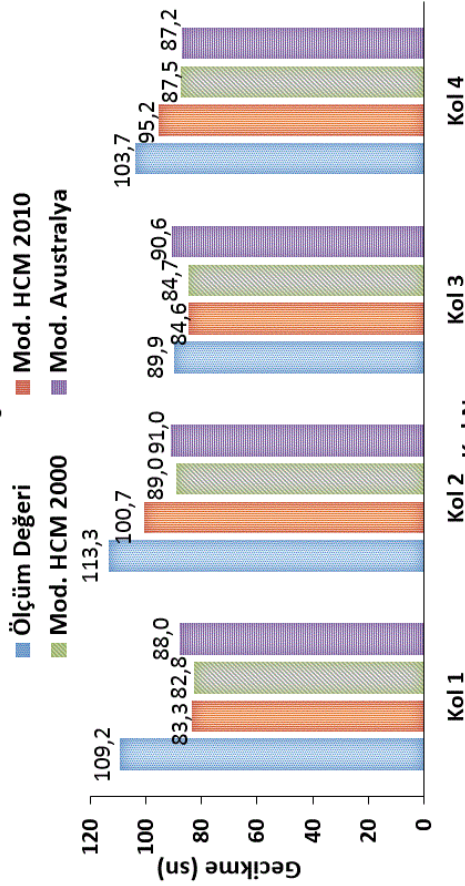
Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

Çizelge 4.23 incelendiğinde DE-INT programı ile yapılan hesaplamalar ile elde edilen gecikme değerleri ile araziden elde edilen gözlem verilerinin kıyaslaması yapıldığında DE-INT ile önerilen değerlerin oldukça düşük bir farklılığa sahip olduğu görülmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin incelenen sekiz kavşak için ortalaması alındığında gecikme için en düşük hataya (%9,6) sahip olan yöntemin Modifiye HCM 2010 yöntemi olduğu belirlenmiş ve yeni geometrik düzenlemelere göre görülmesi beklenen gecikme değerlerinin mevcut değerlere göre daha düşük olacağı hesaplanmıştır (- yönde değişim). DE-INT programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen değerlerin mevcut gözlem değerleri ile karşılaştırılarak kesin bir yargıya varmak doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü program tarafından kavşak kollarında yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda kavşak kollarındaki mevcut gecikme değerlerinin zaten kesinlikle değişmesi beklenmektedir. Bu bölümde Çizelge 4.23'te verilen karşılaştırmaların yapılmasındaki temel amaç geometrik düzenleme ile önerilen gecikme değerleri ile şu anki mevcut gecikme değerleri arasındaki farklılığı görerek bir fikir edinmektir. Tartışma bölümünde DE-INT programı ile önerilen geometriye göre yapılan gecikme hesabı ile Vissim programı ile bu yeni geometriye göre yapılan hesaplamalar karşılaştırılarak, bu konu daha detaylı ve açıklayıcı bir karşılaştırma ile aydınlatılmıştır.

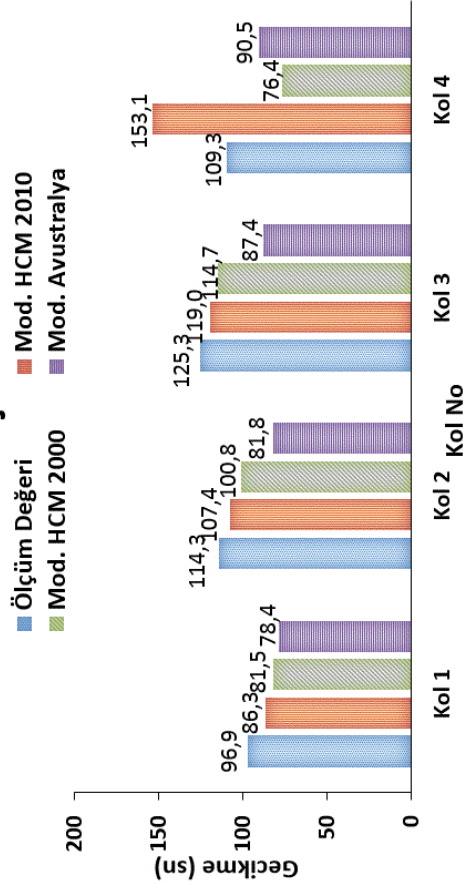
Kavşak 1



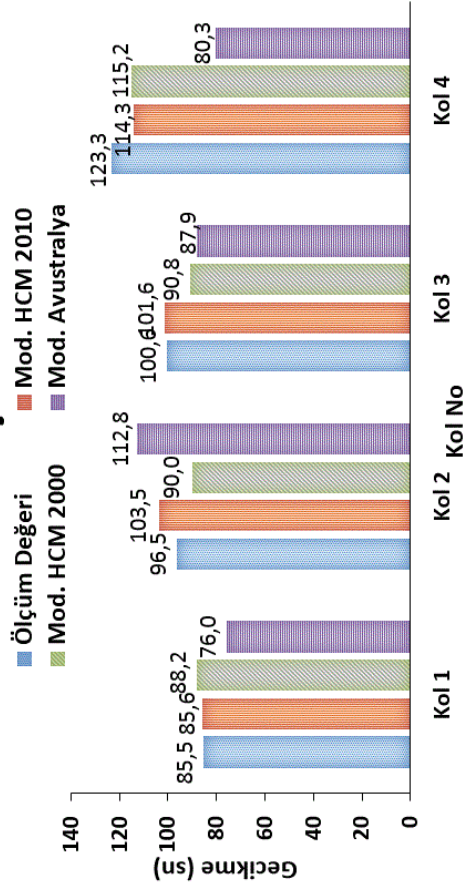
Kavşak 2



Kavşak 3

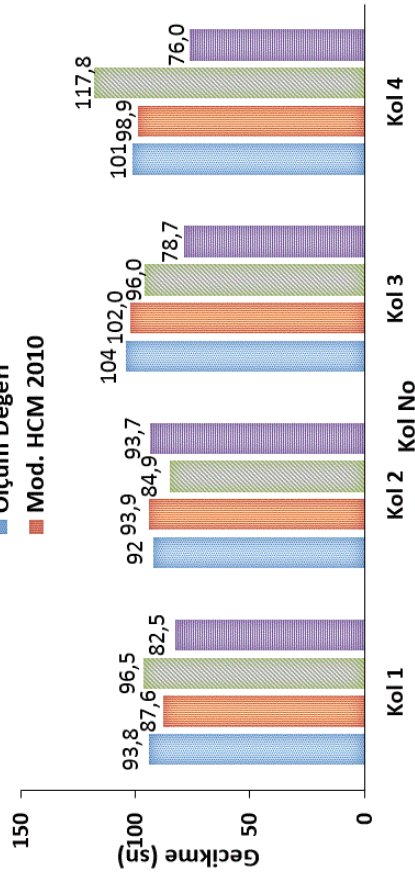


Kavşak 4



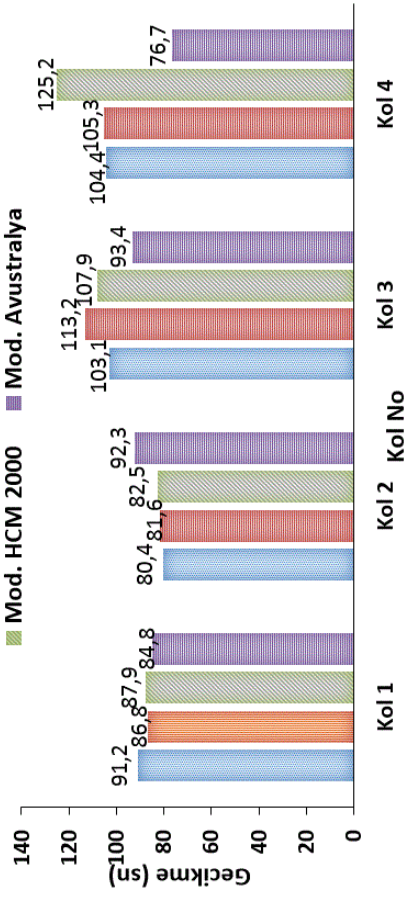
Kavşak 5

■ Ölçüm Değeri
■ Mod. HCM 2010



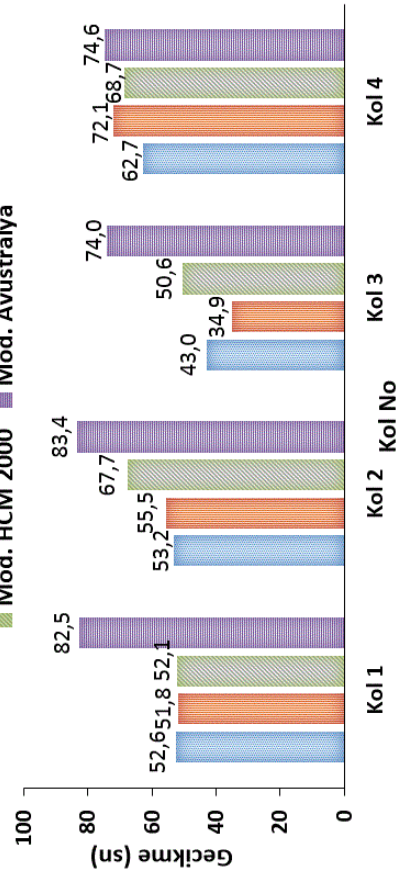
Kavşak 6

■ Ölçüm Değeri
■ Mod. HCM 2000
■ Mod. HCM 2010
■ Mod. Avustralya



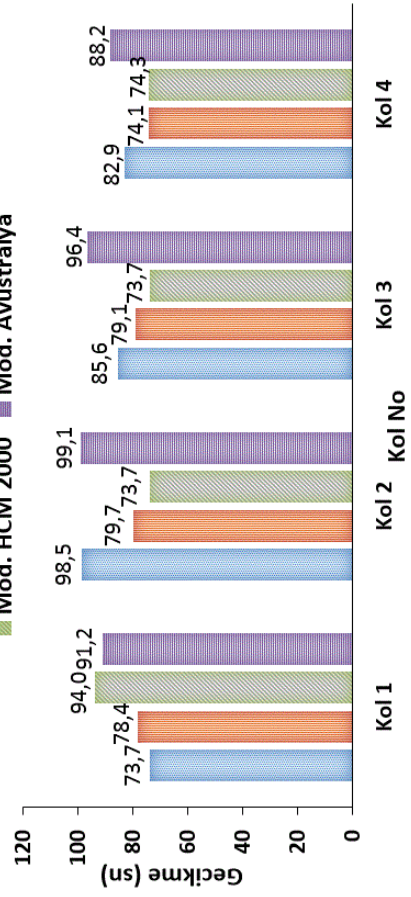
Kavşak 7

■ Ölçüm Değeri
■ Mod. HCM 2000
■ Mod. HCM 2010
■ Mod. Avustralya



Kavşak 8

■ Ölçüm Değeri
■ Mod. HCM 2000
■ Mod. HCM 2010
■ Mod. Avustralya



Şekil 4.49. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağına ait ölçülen ve DE-INT programı ile hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt).

Çizelge 4.24. DE-INT programı ile önerilen ve gerçek kuyruk uzunluğu değerlerinin (taşıt/devre) karşılaştırılması.

Kavşak No	<u>Modifiye</u> Yöntem Adı	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	En İyi <u>Modifiye</u> Yöntem
1	HCM 2010	-38,5	2,9	11,4	3,4	42,5	HCM 2000
	HCM 2000	-28,2	1,8	5,0	2,2	24,6	
	Avustralya	-17,9	2,3	7,8	2,8	32,5	
2	HCM 2010	-52,0	11,7	144,1	12,0	51,8	HCM 2000
	HCM 2000	-52,0	11,7	144,6	12,0	51,4	
	Avustralya	-64,3	14,4	217,5	14,7	63,7	
3	HCM 2010	-11,6	1,0	2,0	1,4	22,2	HCM 2000
	HCM 2000	-4,8	0,5	0,3	0,6	8,2	
	Avustralya	-4,8	2,2	5,1	2,2	34,1	
4	HCM 2010	-43,1	4,2	17,5	4,2	44,5	Avustralya
	HCM 2000	-48,3	4,7	27,9	5,3	25,7	
	Avustralya	-22,4	2,2	8,2	2,9	12,3	
5	HCM 2010	-6,8	1,4	2,6	1,6	25,1	HCM 2000
	HCM 2000	+2,1	1,4	2,6	1,6	18,8	
	Avustralya	+37,6	2,1	6,3	2,5	27,1	
6	HCM 2010	-7,7	0,7	0,7	0,8	14,3	HCM 2010
	HCM 2000	-7,7	0,7	0,7	0,8	20,3	
	Avustralya	+14,3	1,1	1,5	1,2	41,2	
7	HCM 2010	-16,1	0,6	0,6	0,8	17,1	HCM 2010
	HCM 2000	-29,0	1,1	1,8	1,3	27,5	
	Avustralya	+80,6	3,1	9,9	3,1	81,6	

Çizelge 4.24. Devamı.

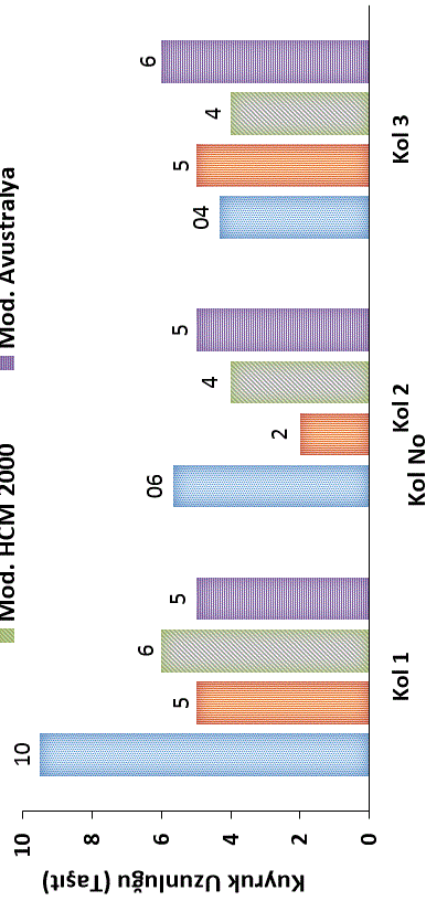
8	HCM 2010	-23,8	1,8	5,3	2,3	19,8	HCM 2000
	HCM 2000	-7,2	0,8	1,2	1,1	8,5	
	Avustralya	-27,1	2,0	7,2	2,7	24,5	
Ort.	HCM 2010	-25,0	3,0	23,0	3,3	29,6	HCM 2000
	HCM 2000	-21,9	2,8	23,0	3,1	23,1	
	Avustralya	-0,5	3,7	32,9	4,0	39,6	

Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

Çizelge 4.24 incelendiğinde ise gecikme hesabında olduğu gibi DE-INT programı ile yapılan hesaplamalardan elde edilen kuyruk uzunluğu değerleri ile araziden elde edilen gözlem verilerinin kıyaslaması yapıldığında, DE-INT ile önerilen ortalama kuyruk uzunluğu hata miktarının gecikme hesabına göre daha yüksek (%23,1>%9,6) fakat mevcut yöntemlere göre daha düşük (%23,1<%40,8) bir farklılığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Gecikme hesabına göre daha yüksek bir hata bulunmasındaki temel sebep kuyruk uzunluğu hesabındaki taşıt sayısının tam sayı olarak alınmasıdır. Örneğin kuyruk uzunluğu için arazideki gerçek değer 2 araç, hesaplanan değer 3 araç ise program bunu %50 hata gibi algılamaktadır. Hâlbuki bu iki sonuç arasında farklılık çok büyük değildir. Gecikme ve kuyruk uzunluğu arasındaki farklılık temel olarak bu husustan kaynaklanmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin incelenen sekiz kavşak için ortalaması alındığında DE-INT gecikme için en düşük hataya (%23,1) sahip olan yöntemin Modifiye HCM 2000 yöntemi olduğu belirlenmiştir. Yine gecikme hesabında olduğu gibi kuyruk uzunluğu hesabında da yeni geometrik düzenlemelere göre görülmesi beklenen kuyruk uzunluğu değerlerinin mevcut değerlere göre daha düşük olacağı hesaplanmıştır (- yönde değişim). DE-INT programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen kuyruk uzunluğu değerlerini mevcut gözlem değerleri ile karşılaştırılarak kesin bir yargıya varmak gecikme hesabında olduğu gibi doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü program tarafından kavşak kollarında yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda kavşak kollarında görülecek mevcut kuyruk uzunluğu değerlerinin zaten kesinlikle değişmesi beklenmektedir. Bu bölümde Çizelge 4.24'te verilen karşılaştırmaların yapılmasındaki temel amaç geometrik düzenleme ile önerilen kuyruk uzunluğu değerleri ile şu anki mevcut kuyruk uzunluğu değerleri arasındaki farklılığı görerek bir fikir edinmektir. Tartışma bölümünde DE-INT programı ile önerilen geometriye göre yapılan kuyruk uzunluğu hesabı ile Vissim programı ile bu yeni geometriye göre yapılan hesaplamalar karşılaştırılarak, bu konu daha detaylı ve açıklayıcı bir karşılaştırma ile aydınlatılmıştır.

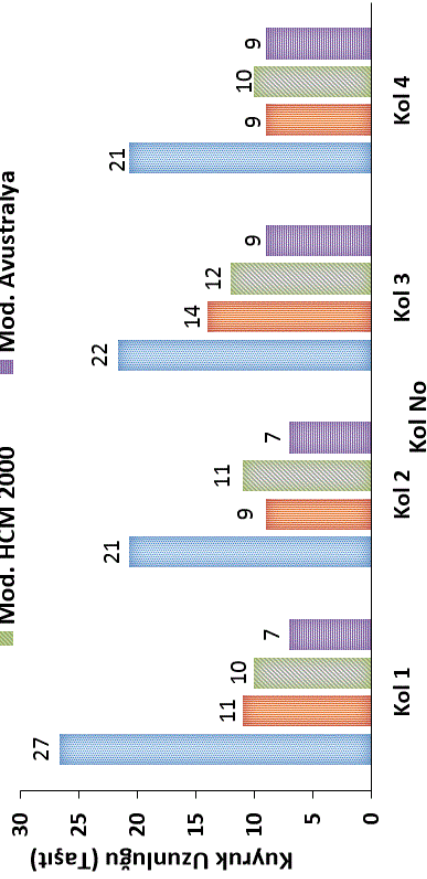
Kavşak 1

Ölçüm Değeri
Mod. HCM 2000
Mod. HCM 2010
Mod. Avustralya



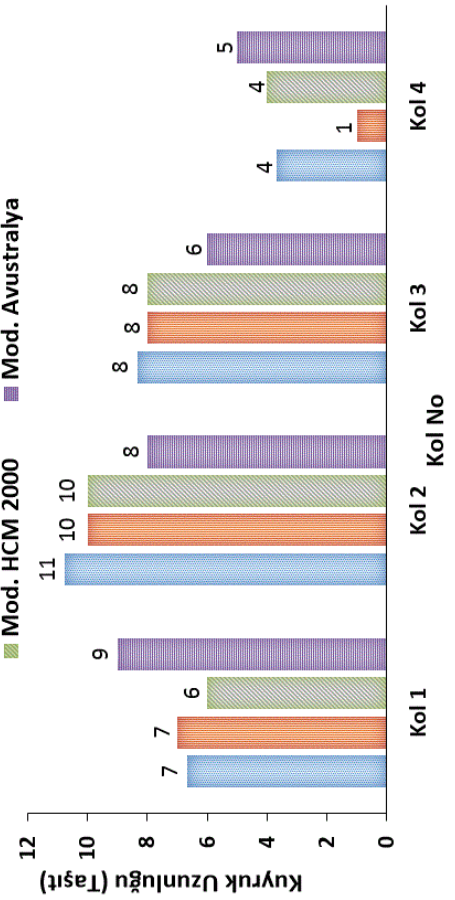
Kavşak 2

Ölçüm Değeri
Mod. HCM 2000
Mod. HCM 2010
Mod. Avustralya



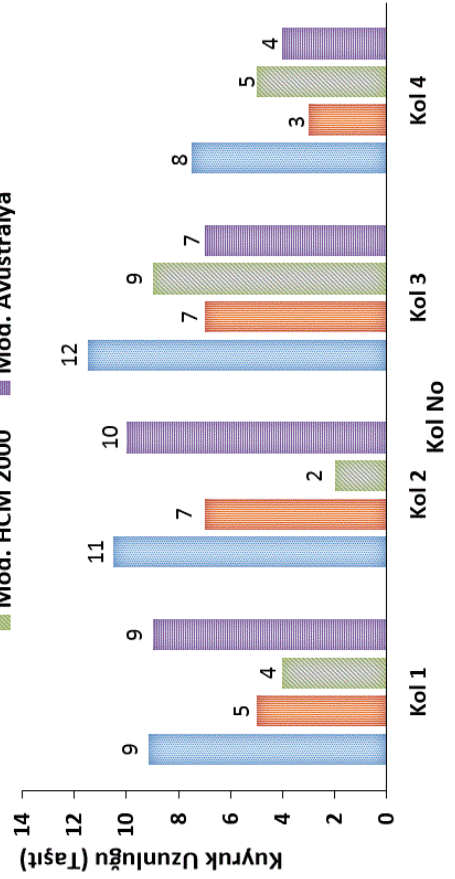
Kavşak 3

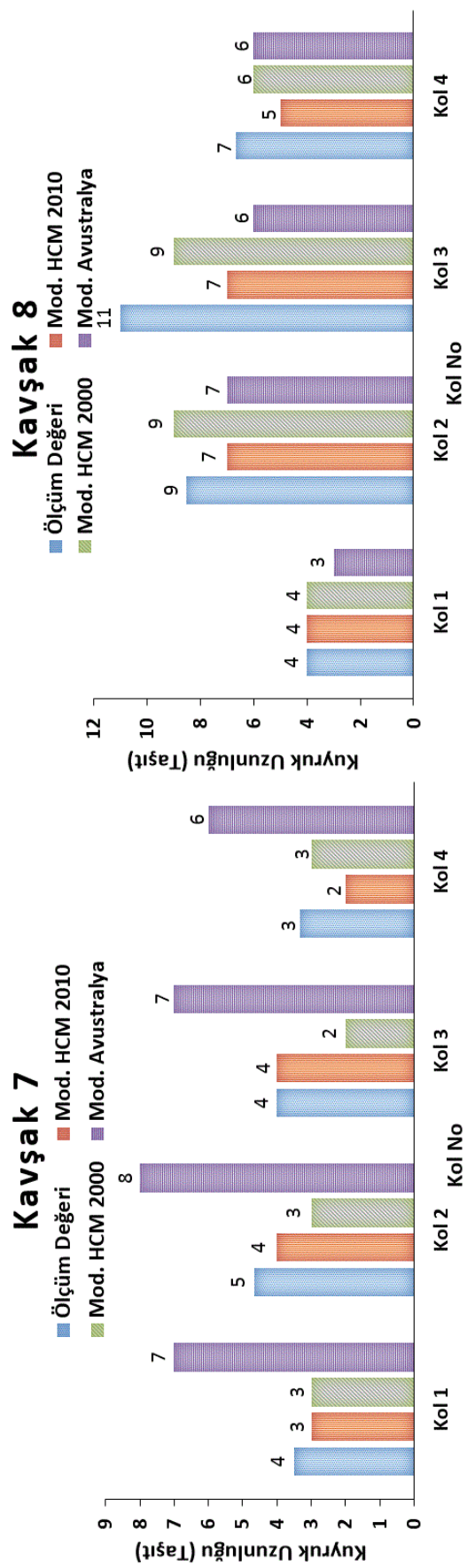
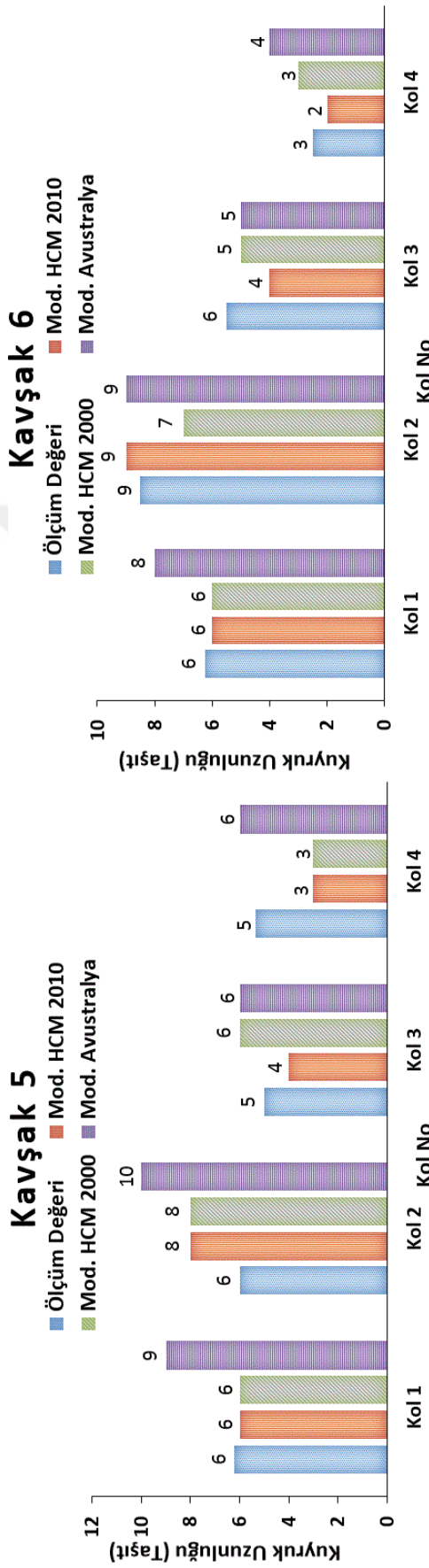
Ölçüm Değeri
Mod. HCM 2000
Mod. HCM 2010
Mod. Avustralya



Kavşak 4

Ölçüm Değeri
Mod. HCM 2000
Mod. HCM 2010
Mod. Avustralya





Şekil 4.50. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağına ait ölçülen ve DE-INT programı ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (taşıt/devre).

Çizelge 4.25. DE-INT programı tarafından incelenen 9 farklı kavşak için önerilen geometrik ölçüler.

Kavşak No	Kol No	Şerit No	Yanal Açıklık (metre)	Şerit Genişliği (metre)	Çizgi Kalınlıkları (metre)	Toplam Platform Genişliği (metre)
1	1	1	0,25×2=0,5	3,10	3×0,15=0,45	7,15
		2		3,10		
	2	1	0,25×2=0,5	3,10	3×0,15=0,45	7,15
		2		3,10		
	3	1	0,1×2=0,2	2,92	4×0,15=0,60	9,56
		2		2,92		
		3		2,92		
2	1	1	0,25×2=0,5	3,10	4×0,15=0,60	10,40
		2		3,10		
		3		3,10		
	2	1	0,18×2=0,36	3,10	4×0,15=0,60	10,26
		2		3,10		
		3		3,10		
	3	1	0,25×2=0,5	3,10	5×0,15=0,75	13,65
		2		3,10		
		3		3,10		
		4		3,10		
	4	1	0,25×2=0,5	3,10	5×0,15=0,75	13,65
		2		3,10		
		3		3,10		
		4		3,10		

Çizelge 4.25. Devamı.

3	1	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$6 \times 0,15 = 0,90$	16,90
		2		3,10		
		3		3,10		
		4		3,10		
		5		3,10		
	2	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$5 \times 0,15 = 0,75$	13,65
		2		3,10		
		3		3,10		
		4		3,10		
	3	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,72	$4 \times 0,15 = 0,60$	8,96
		2		2,72		
		3		2,72		
	4	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,77	$4 \times 0,15 = 0,60$	9,11
		2		2,77		
		3		2,77		
4	1	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	3,00	$6 \times 0,15 = 0,90$	16,10
		2		3,00		
		3		3,00		
		4		3,00		
		5		3,00		
	2	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,74	$6 \times 0,15 = 0,90$	14,80
		2		2,74		
		3		2,74		
		4		2,74		
		5		2,74		

Çizelge 4.25. Devamı.

4	3	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$4 \times 0,15 = 0,60$	10,40
		2		3,10		
		3		3,10		
	4	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	3,05	$3 \times 0,15 = 0,45$	6,75
		2		3,05		
5	1	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	3,00	$6 \times 0,15 = 0,90$	16,10
		2		3,00		
		3		3,00		
		4		3,00		
		5		3,00		
	2	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,78	$6 \times 0,15 = 0,90$	15,00
		2		2,78		
		3		2,78		
		4		2,78		
		5		2,78		
	3	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$4 \times 0,15 = 0,60$	10,40
		2		3,10		
		3		3,10		
	4	1	$0,18 \times 2 = 0,36$	3,10	$4 \times 0,15 = 0,60$	10,25
		2		3,10		
		3		3,10		
6	1	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$5 \times 0,15 = 0,75$	13,65
		2		3,10		
		3		3,10		
		4		3,10		

Çizelge 4.25. Devamı.

6	2	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$5 \times 0,15 = 0,75$	13,65
		2		3,10		
		3		3,10		
		4		3,10		
	3	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,70	$3 \times 0,15 = 0,45$	6,05
		2		2,70		
	4	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$3 \times 0,15 = 0,45$	7,15
		2		3,10		
7	1	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,78	$5 \times 0,15 = 0,75$	12,07
		2		2,78		
		3		2,78		
		4		2,78		
	2	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$5 \times 0,15 = 0,75$	13,65
		2		3,10		
		3		3,10		
		4		3,10		
	3	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,79	$5 \times 0,15 = 0,75$	12,11
		2		2,79		
		3		2,79		
		4		2,79		
	4	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$4 \times 0,15 = 0,60$	10,40
		2		3,10		
		3		3,10		
8	1	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$3 \times 0,15 = 0,45$	7,15
		2		3,10		

Çizelge 4.25. Devamı.

8	2	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$3 \times 0,15 = 0,45$	7,15
		2		3,10		
	3	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$3 \times 0,15 = 0,45$	7,15
		2		3,10		
	4	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	2,92	$4 \times 0,15 = 0,60$	9,56
		2		2,92		
		3		2,92		
9	1	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	3,04	$5 \times 0,15 = 0,75$	13,11
		2		3,04		
		3		3,04		
		4		3,04		
	2	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$4 \times 0,15 = 0,60$	10,40
		2		3,10		
		3		3,10		
	3	1	$0,1 \times 2 = 0,2$	3,00	$4 \times 0,15 = 0,60$	9,80
		2		3,00		
		3		3,00		
	4	1	$0,25 \times 2 = 0,5$	3,10	$3 \times 0,15 = 0,45$	7,15
		2		3,10		

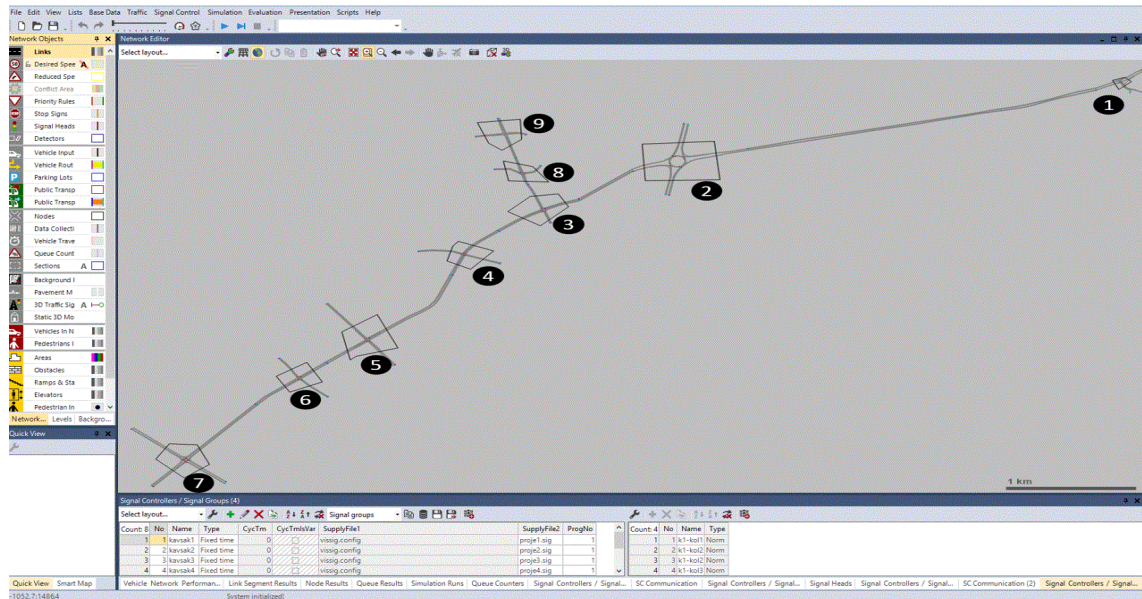
4.10. DE-INT Programı ile Önerilen Kavşak Tasarımlarının Bir Mikro Trafik Simülasyon (Vissim) Programı ile İrdelenmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde DE-INT programı tarafından standartlara uygun olarak tasarlanan ve kavşak kollarında illegal ek şerit oluşumuna engel olan şerit genişliği, şerit sayısı ve yanal açıklıklara göre tahmin edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri ile PTV Vissim V9 mikro simülasyon programı ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Buradaki ana amaç DE-INT programı ile kavşak kolları için önerilen şerit genişliği, şerit sayısı ve yanal açıklık değeri ile yani program tarafından önerilen bu yeni

geometrik özelliklere göre hesaplanan gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini aynı koşullar ile Vissim simülasyon programı ile incelemek; sonuçları karşılaştırarak geliştirilen DE-INT programının efektif çalışıp çalışmadığını test etmektir. Çalışma kapsamında incelenilen kavşaklarda gözlemlenen ek şerit oluşumu sebebiyle Vissim analizlerinde kalibrasyon yapılmamıştır. Çünkü Vissim programı dahil olmak üzere literatürde kullanılan birçok mikro simülasyon programında kavşak kollarında oluşan ek şerit oluşumunu tanımlamak ne yazık ki mümkün değildir. Dünyanın hiçbir yerinde bir kavşak kolu incelenirken bu koldaki şerit sayısı bazen iki bazen üç gibi bir yaklaşım söz konusu değildir. Kullanılan simülasyon programlarında kavşak kollarındaki şerit sayıları nettir ve analizler bu net duruma göre yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenilen kavşak kollarında farklı şerit sayılarını görmek mümkündür ve işin ilginç yanı, bu ilave şerit oluşumu bazı kavşaklarda sürekli olarak görülmekte, bazılarında ise bazen görülüp bazen görülmemektedir. Dolayısıyla bazı kavşaklarda ek şerit oluşumu kesinlikle var gibi kesin bir yargıya bile varılamayabilmektedir. Yukarıda belirtilen tüm bu hususlardan dolayı ek şerit oluşumu olan kavşakları mikro simülasyon programlarında incelemek ne yazık ki mümkün değildir. Bu karmaşık duruma göre kalibrasyon yapmak mümkün olmadığından bu çalışma kapsamında herhangi bir kalibrasyon işlemi yapılmamıştır. Önerilen modelin doğruluğu Vissim ve DE-INT programları ile yapılan analizler sonucu elde edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin birbirlerine yakın olma durumu ile değerlendirilmiştir.

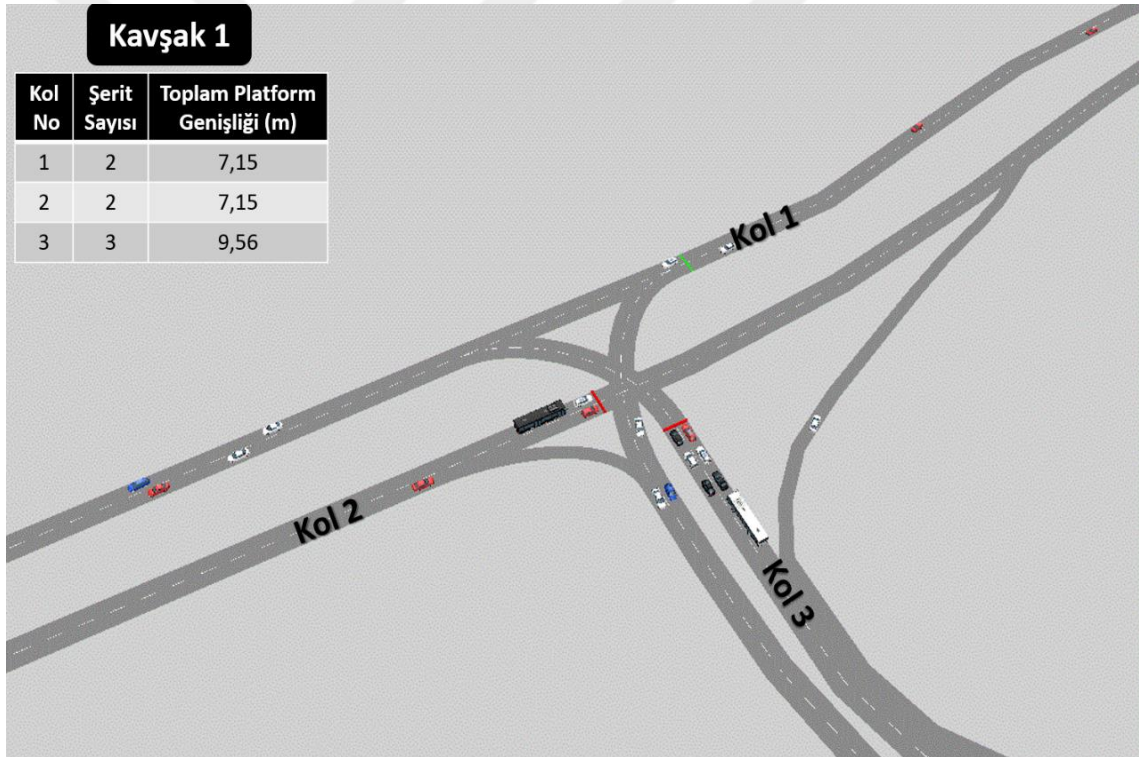
4.10.1. DE-INT programı ile önerilen kavşak geometrilerinin Vissim programında çizilmesi ve kavşaklara ait mevcut verilere göre analizi

Bir önceki bölümde anlatılan amaca ulaşabilmek için DE-INT programı tarafından önerilen (Bkz. Çizelge 4.25) şerit genişliği ve sayısı kullanılarak incelenen her bir kavşak ve üzerinde yer aldığı yol ağı Şekil 4.51’de görseli verilen biçimde Vissim programında çizilmiş ve sonrasında Çizelge 4.1-4.16’da verilen kavşaklara ait veriler simülasyon analizlerinde kullanılmak üzere programa girilmiştir.

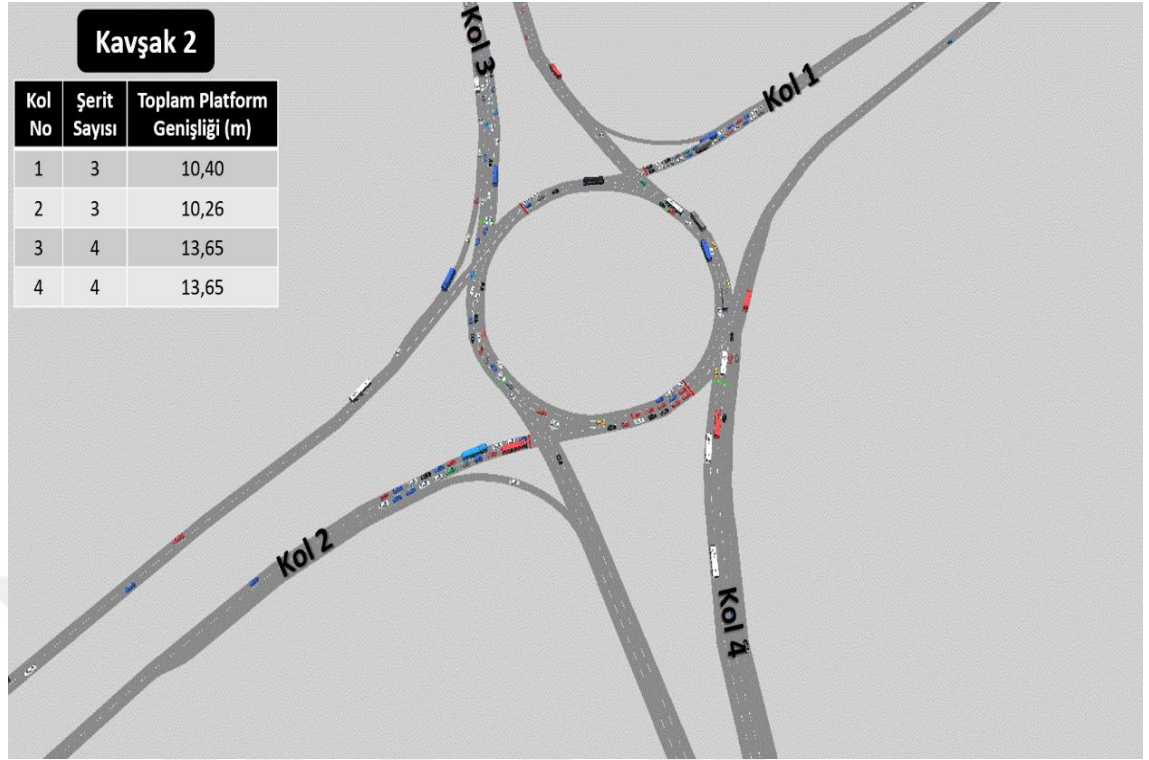


Şekil 4.51. DE-INT programı tarafından önerilen geometrilere uygun olarak kavşakların çizilmesi ve kavşaklardaki mevcut trafik verilerinin programa girilmesi.

Bu çizim esnasında her bir kavşak kolu için kavşakların mevcut ve standartlara uygun olmayan sorunlu hali değil, DE-INT tarafından standartlara uygun olarak önerilen geometrik özellikler kullanılmıştır. Ayrıca her bir kavşaktaki trafik akım verisi ve sinyalizasyon planı olarak DE-INT programında olduğu gibi saha gözlemlerinden ve analizlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus gerek DE-INT programında gerekse Vissim programında kavşakların birbirinden bağımsız olarak analiz edilmesidir. Aynı yol ağı üzerinde olsa da her bir kavşak kendisinden bir önceki ve bir sonraki kavşaktan bağımsız olarak analiz edilmiştir. Burada ana amaç çalışmanın başında da değinildiği üzere kavşakları birbirinden bağımsız olarak tanısal bazlı olarak irdelemek ve her bir kavşağa ait farklı geometrik disiplinsizliklere o kavşağa özgü bir çözüm üretmektir. Kavşakların aynı yol ağı üzerinde yer almasının sebebi ise çalışmanın amacında da ifade edildiği gibi yeni tasarımlar sonrası bir kavşakta meydana gelebilecek uzun kuyruk ve yüksek gecikme değerlerinin kendisinden önceki ve sonraki kavşağı etkileyip etkilemeyeceğini belirlemektir. Çalışma kapsamında incelenen her bir sinyalize kavşak için Vissim programında yapılan çizimler ve sonrasında analiz için yapılan simülasyona ait örnek görseller Şekil 4.52-4.59’da verilmektedir.



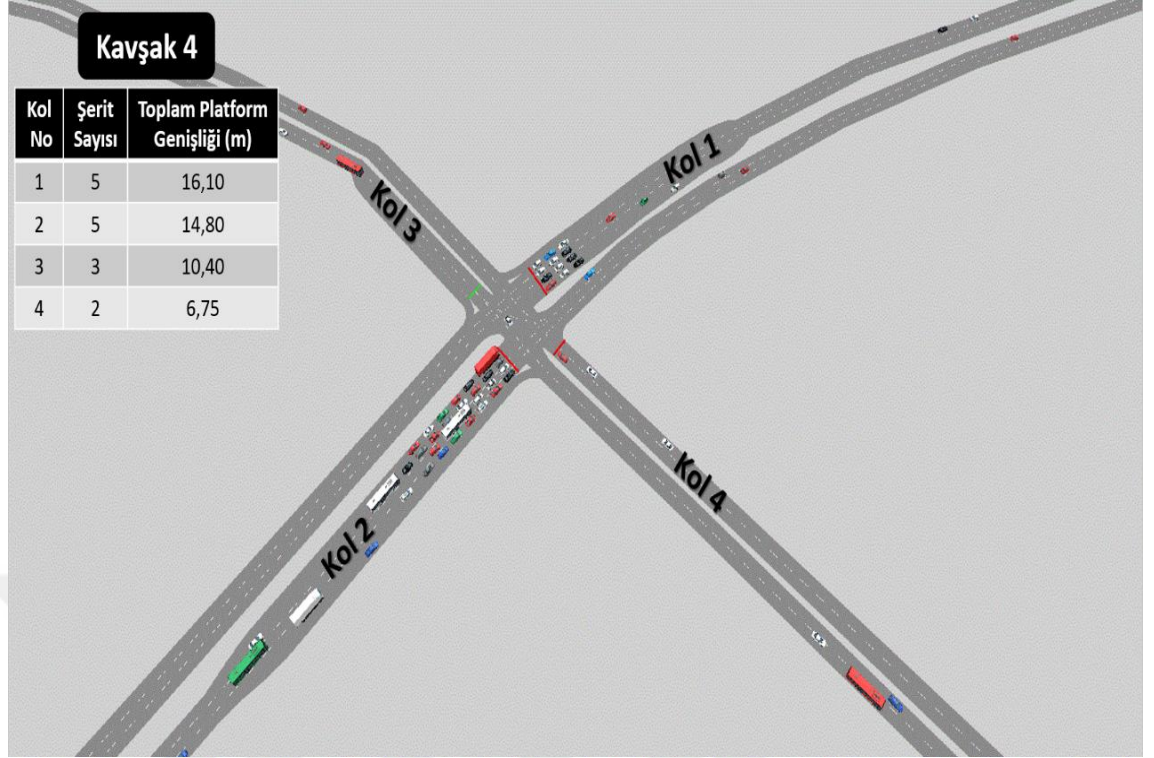
Şekil 4.52. Kavşak 1’in DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



Şekil 4.53. Kavşak 2'nin DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



Şekil 4.54. Kavşak 3'ün DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



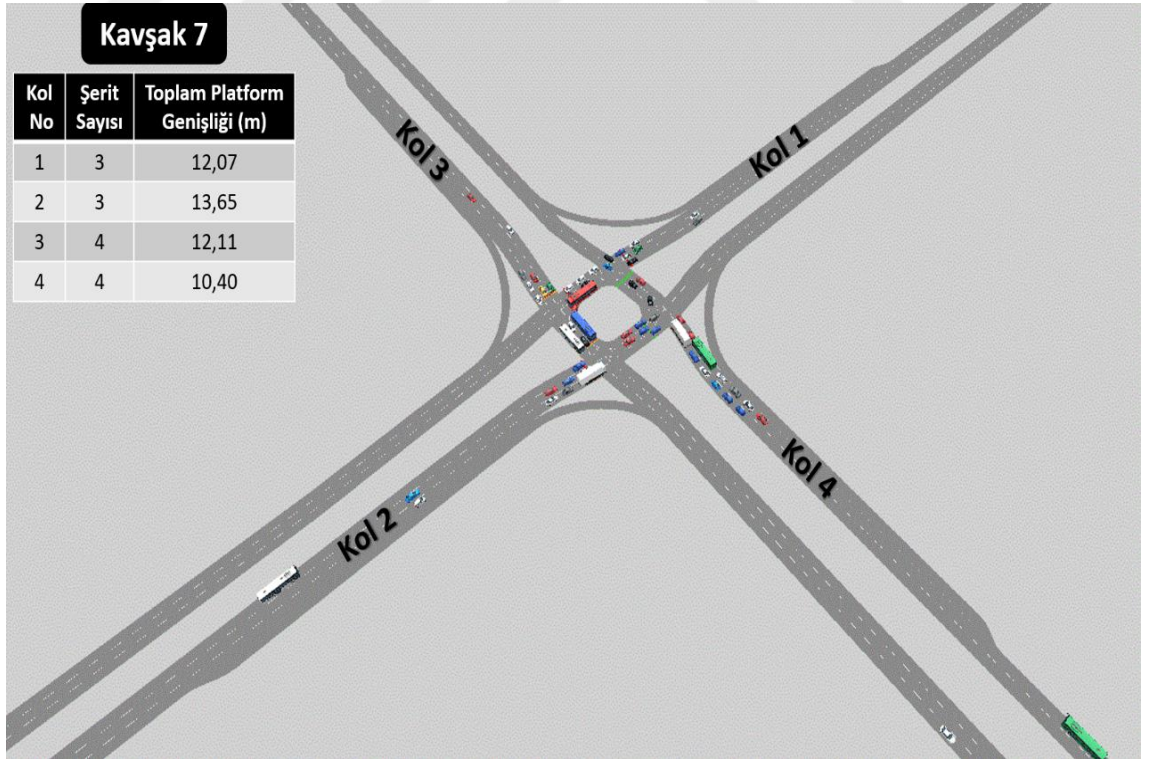
Şekil 4.55. Kavşak 4'ün DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



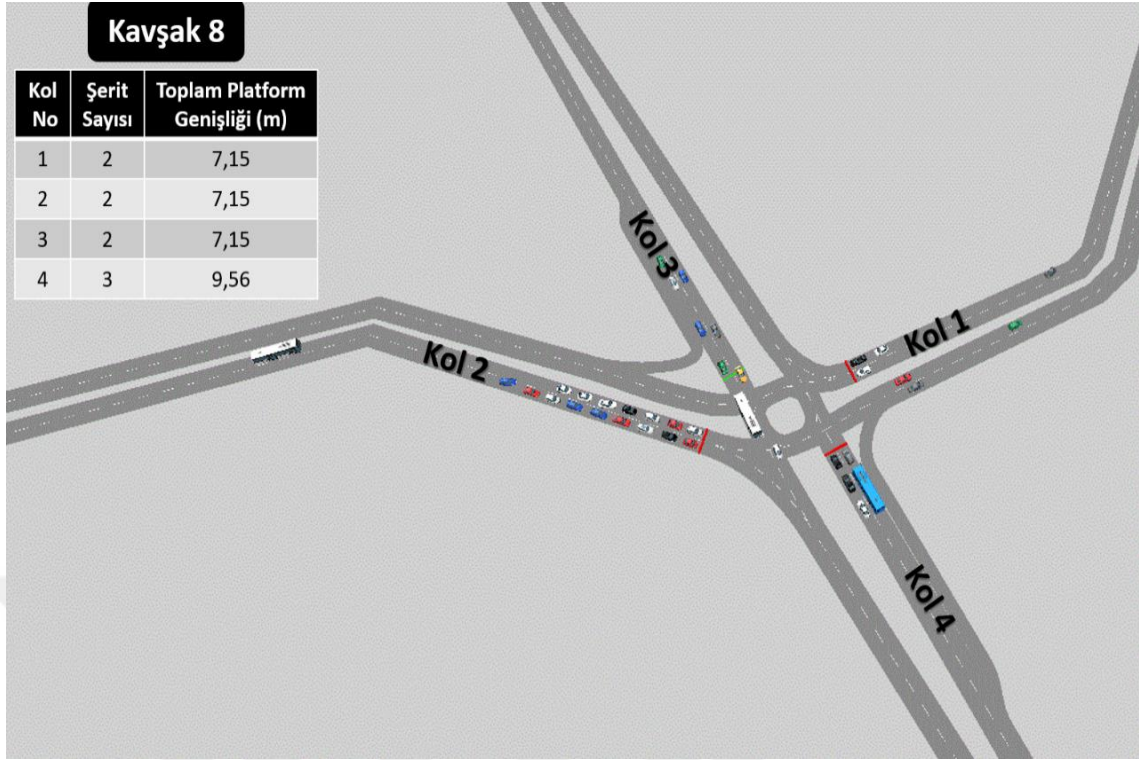
Şekil 4.56. Kavşak 5'in DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



Şekil 4.57. Kavşak 6'nın DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



Şekil 4.58. Kavşak 7'nin DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



Şekil 4.59. Kavşak 8'in DE-INT tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.

Yapılan analizler sonucunda DE-INT ve Vissim programları tarafından her bir sinyalizasyon kavşak için hesaplanan gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri ile arazideki mevcut gerçek değerler arasındaki hatalar ve mevcut gecikme değerine göre değişim Çizelge 4.26, karşılaştırmaya ait veriler Şekil 4.60, kuyruk uzunluğuna ait sonuçlar Çizelge 4.27 ve karşılaştırmaya ait veriler ise Şekil 4.61'de verilmektedir. Bu analizler sırasında dikkat çekilmesi gereken önemli bir durum bulunmaktadır. Çizelge 4.26 ve 4.27'de verilen DE-INT programına ait sonuçlar için incelenen kavşakta en düşük hata miktarına göre tahmin yapan yöntemle ait sonuçlar dikkate alınmıştır. Vissim programı kuyruk uzunluğu analizlerinde kavşak kollarındaki ortalama kuyruk uzunluğu değerini taşıt sayısı yerine mesafe (m) olarak vermektedir. Fakat DE-INT programı ise kuyruk uzunluğunu mesafe biriminden değil taşıt sayısı biriminden vermektedir. Bu amaçla Vissim analizlerinden elde edilen kuyruk uzunluğu değerlerini DE-INT programından elde edilenlerle karşılaştırmak amacıyla New England Section of the Institute of Transportation Engineers (NEITE) tarafından hazırlanan raporda şehir içi yollarda kuyruktaki efektif taşıt uzunluğu olarak önerilen 7,62 m (25 feet) değeri kullanılmıştır (NEITE 2014). Vissim analizleri ile elde edilen mesafe türünden uzunluklar bu değere bölünerek her bir kavşak kolu için taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu elde edilmiş ve iki programa ait sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 4.26. DE-INT ve Vissim ile hesaplanan gecikme değerlerinin (sn/taşıt) gerçek değerler ile karşılaştırılması.

Kavşak No	Analiz Programı	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	MAPE (%) DE-INT-VISSIM
1	DE-INT	+4,2	10,4	109,3	10,5	13,2	3,2
	VİSSİM	-16,8	13,6	214,9	14,7	16,3	
2	DE-INT	-12,6	13,1	232,6	15,3	12,2	9,1
	VİSSİM	+17,9	22,4	599,8	24,5	21,4	
3	DE-INT	+4,5	16,9	530,2	23,0	15,5	6,7
	VİSSİM	+18,3	22,8	902,6	30,0	22,2	
4	DE-INT	-0,2	4,3	32,9	5,7	3,9	13,0
	VİSSİM	-18,0	18,2	458,4	21,4	17,0	
5	DE-INT	-2,2	3,1	13,1	3,6	3,2	2,9
	VİSSİM	+5,3	6,1	43,3	6,6	6,1	
6	DE-INT	+2,1	4,2	30,7	5,5	4,3	7,4
	VİSSİM	-5,5	11,4	159,0	12,6	11,6	
7	DE-INT	+1,3	5,2	40,1	6,3	10,0	5,6
	VİSSİM	+1,3	8,4	101,2	10,1	15,6	
8	DE-INT	+10,0	8,5	112,8	10,6	10,8	8,5
	VİSSİM	+7,8	17,2	432,5	20,8	19,4	
Ort.	DE-INT	+0,9	8,2	137,7	10,1	9,1	7,1
	VİSSİM	+1,3	15,0	364,0	17,6	16,2	

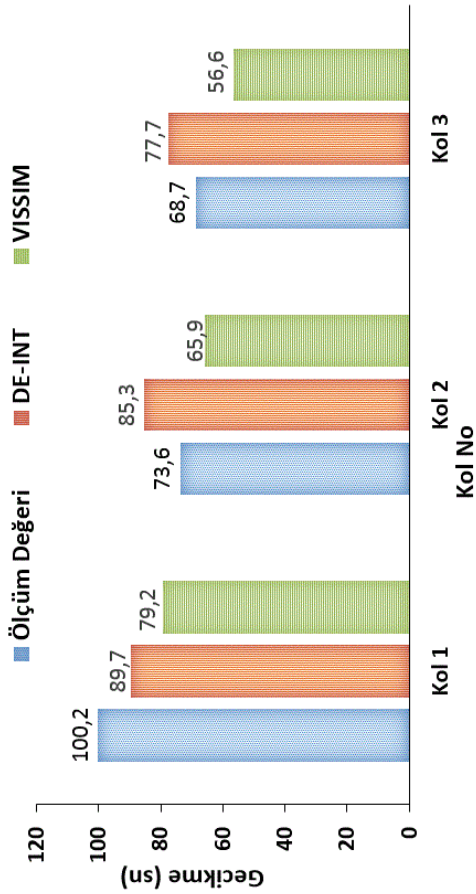
Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

Çizelge 4.26 incelendiğinde gerçek gecikme değerleri ile DE-INT ve Vissim programlarının hesapladığı gecikme değerleri arasında DE-INT için ortalama %9,1’lik Vissim içinse ortalama %16,2’lik bir hata olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre DE-INT programının Vissim programına göre bu modifiye kavşaklarda mevcut durumdaki ortalama gecikme değerlerine daha yakın bir tahminde bulunduğu söylenebilmektedir. Ayrıca her iki programa göre yeni geometrik düzenlemeler sonucunda mevcut duruma göre küçük bir artış görüleceği önerilmektedir (DE-INT için + %0,9 ve Vissim için + %1,3). Ayrıca analizler sonucunda DE-INT programı ile

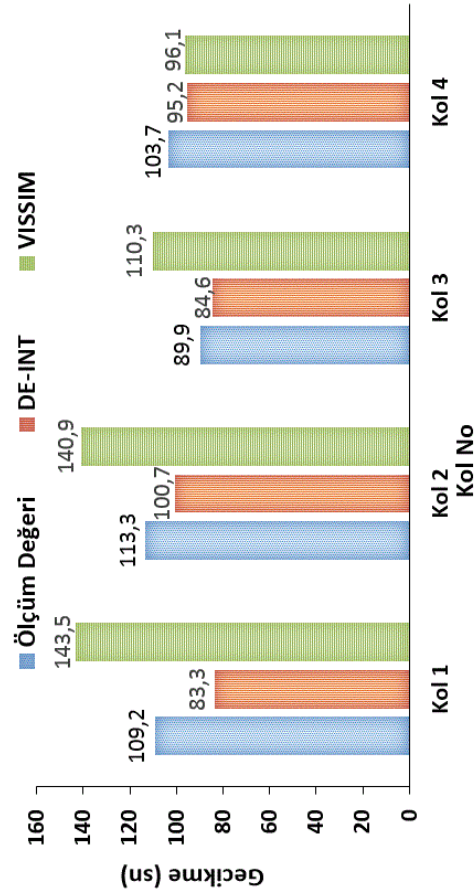
Vissim programı tarafından önerilen gecikme değerlerinin birbirlerine yakın olduğu ve ikisi arasındaki hata farkının (MAPE) %7,1 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Belirtilen tüm bu durumlara ilişkin karşılaştırma sonuçları aşağıda verilen Şekil 4.60'dan da gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 4.27 incelendiğinde ise gerçek kuyruk uzunluğu değerleri ile DE-INT ve Vissim programlarının hesapladığı kuyruk uzunluğu değerleri arasında DE-INT için ortalama %21,5'lik Vissim içinse ortalama %26,8'lik bir hata olduğu gözlemlenmiştir. Gecikme değerlerine göre daha yüksek değerler hesaplanmasındaki temel sebep daha önce de açıklandığı gibi kuyruk uzunluklarındaki taşıt sayısının tam sayı olarak alınmasıdır. Tablo 4.27'da verilen bu sonuçlara göre DE-INT programının Vissim programına göre bu modifiye kavşaklarda mevcut durumdaki ortalama kuyruk uzunluğu değerlerine daha yakın bir tahminde bulunduğu söylenebilmektedir. Ayrıca her iki programa göre yeni geometrik düzenlemeler sonucunda kuyruk uzunluklarında mevcut duruma göre önemli derecede bir azalma görüleceği önerilmektedir (DE-INT için -%17,1 ve Vissim için -%15). Ayrıca analizler sonucunda DE-INT programı ile Vissim programı tarafından önerilen değerlerin birbirine yakın olduğu ve ikisi arasındaki hata farkının (MAPE) %5,3 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Belirtilen tüm bu durumlara ilişkin karşılaştırma sonuçları aşağıda verilen Şekil 4.61'den de gözlemlenebilmektedir.

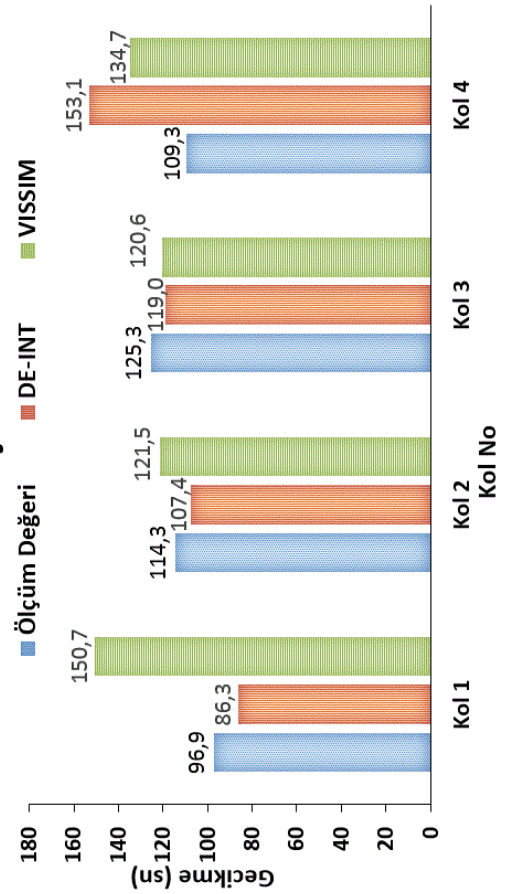
Kavşak 1



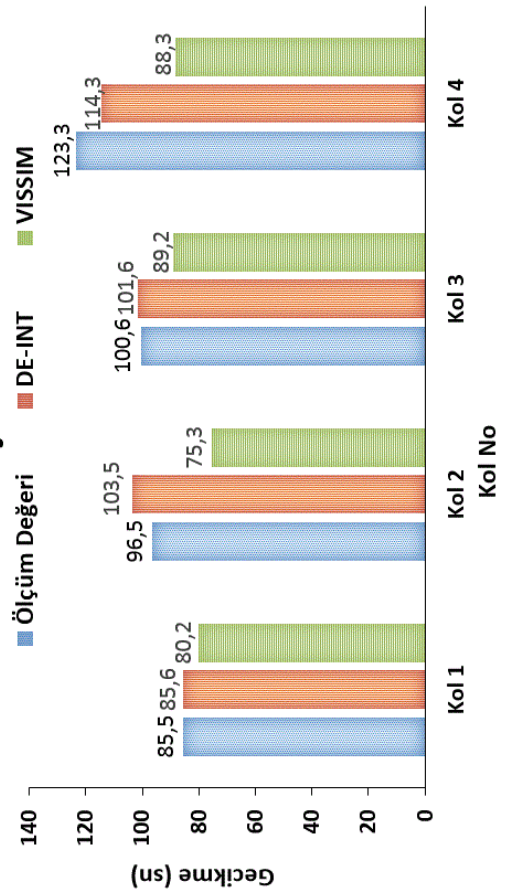
Kavşak 2

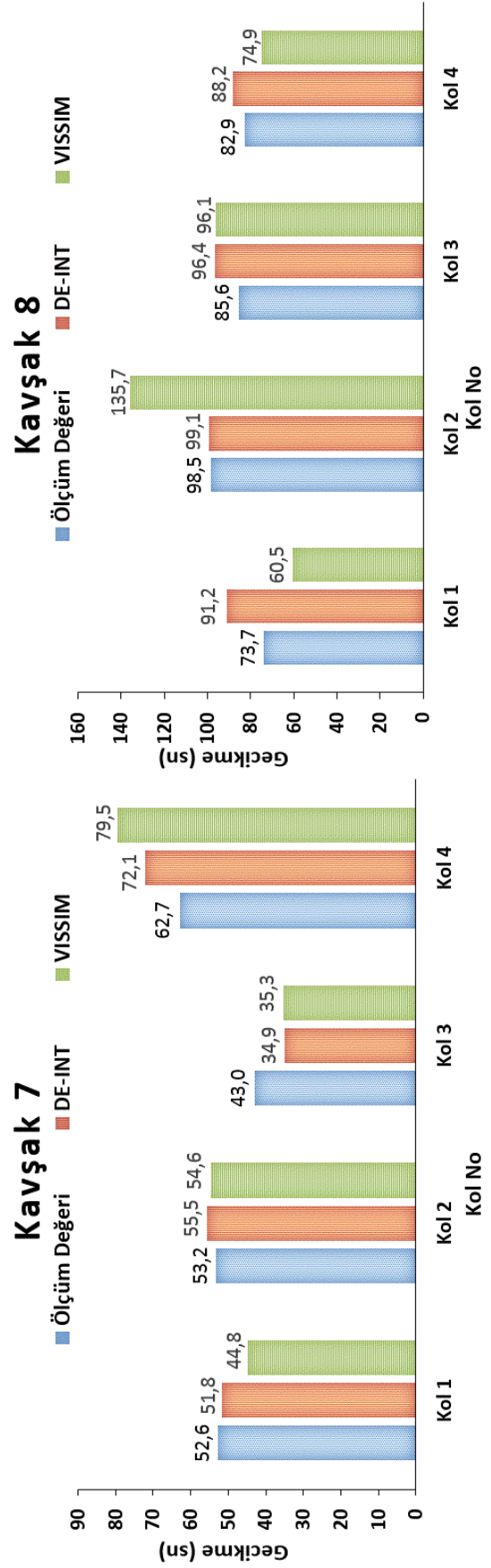
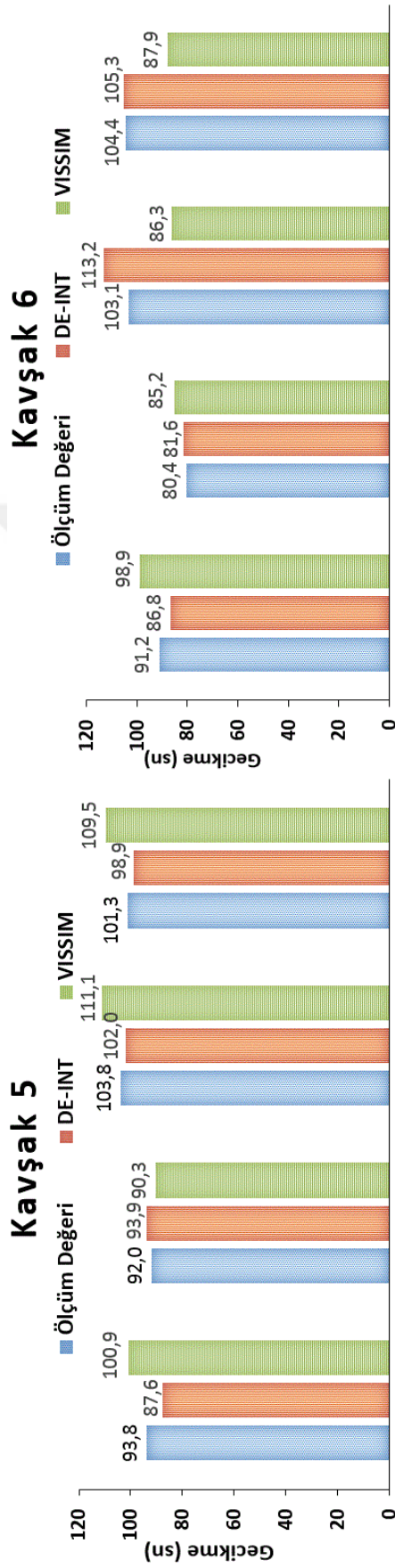


Kavşak 3



Kavşak 4





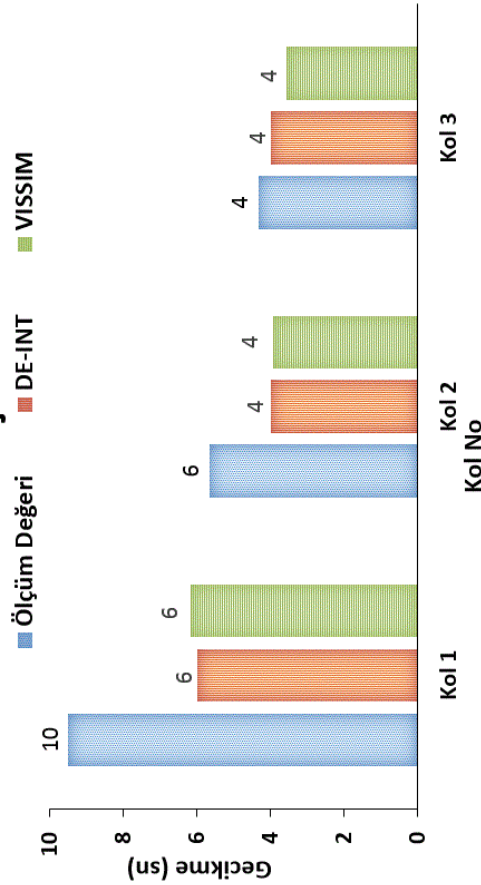
Şekil 4.60. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağına ait ölçülen, DE-INT ve VISSIM programları ile hesaplanan gecikme değerlerinin karşılaştırılması (sn/taşıt).

Çizelge 4.27. DE-INT ve Vissim ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin (taşıt/devre) gerçek değerler ile karşılaştırılması.

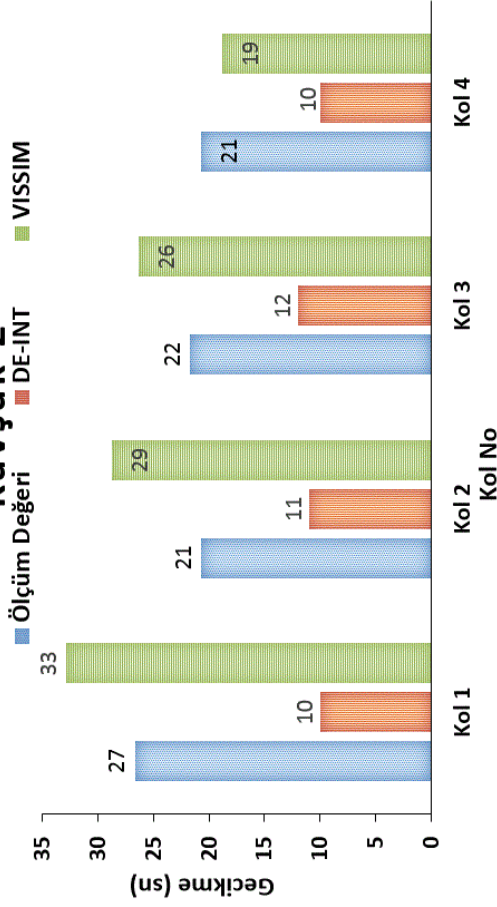
Kavşak No	Analiz Programı	Değişim (%)	MAE	MSE	RMSE	MAPE (%)	MAPE (%) FARK [DE-INT-VISSİM]
1	DE-INT	-28,2	1,8	5,0	2,2	24,6	3,1
	VİSSİM	-29,9	1,9	4,9	2,2	27,8	
2	DE-INT	-52,0	11,7	144,6	12,0	51,4	-28,1
	VİSSİM	+19,0	5,2	32,2	5,7	23,2	
3	DE-INT	-4,8	0,5	0,3	0,6	7,5	23,0
	VİSSİM	-12,5	2,1	6,1	2,5	30,5	
4	DE-INT	-22,4	2,2	8,2	2,9	23,1	1,0
	VİSSİM	-45,5	4,4	20,2	4,5	24,1	
5	DE-INT	+2,1	1,4	2,6	1,6	25,1	-4,4
	VİSSİM	-27,2	1,5	2,9	1,7	20,7	
6	DE-INT	-7,7	0,7	0,7	0,8	14,3	16,3
	VİSSİM	-13,4	1,4	2,1	1,5	30,6	
7	DE-INT	-16,1	0,6	0,6	0,8	17,1	10,4
	VİSSİM	-29,7	1,1	2,0	1,4	27,6	
8	DE-INT	-7,2	0,8	1,2	1,1	8,5	21,0
	VİSSİM	+19,3	2,1	4,8	2,2	29,6	
Ort.	DE-INT	-17,1	2,5	20,4	2,8	21,5	5,3
	VİSSİM	-15,0	2,5	9,4	2,7	26,8	

Not: (-) işareti arazi gözlem değerine yüzdesel azalmayı, (+) işareti ise yüzdesel artışı göstermektedir.

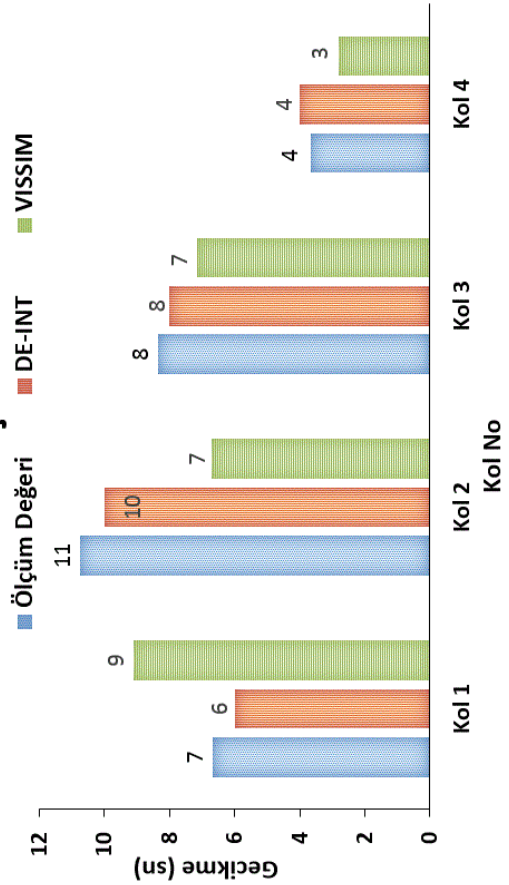
Kavşak 1



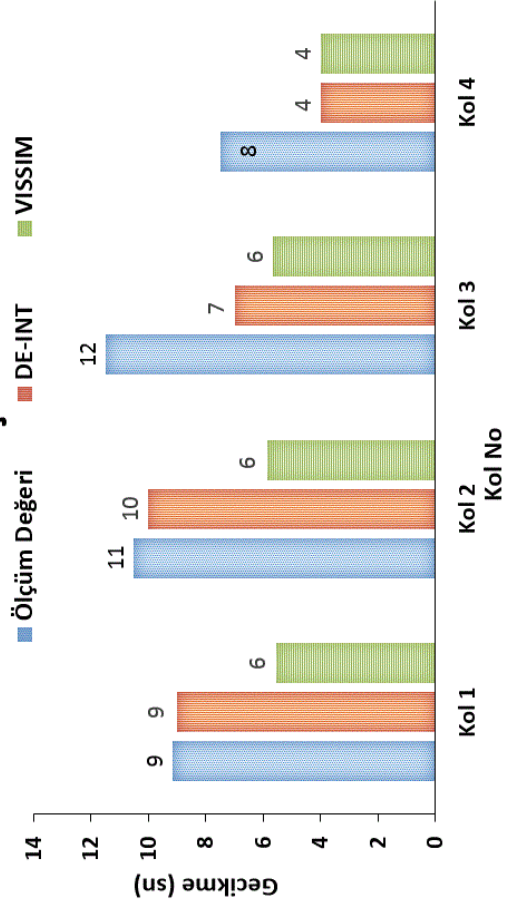
Kavşak 2

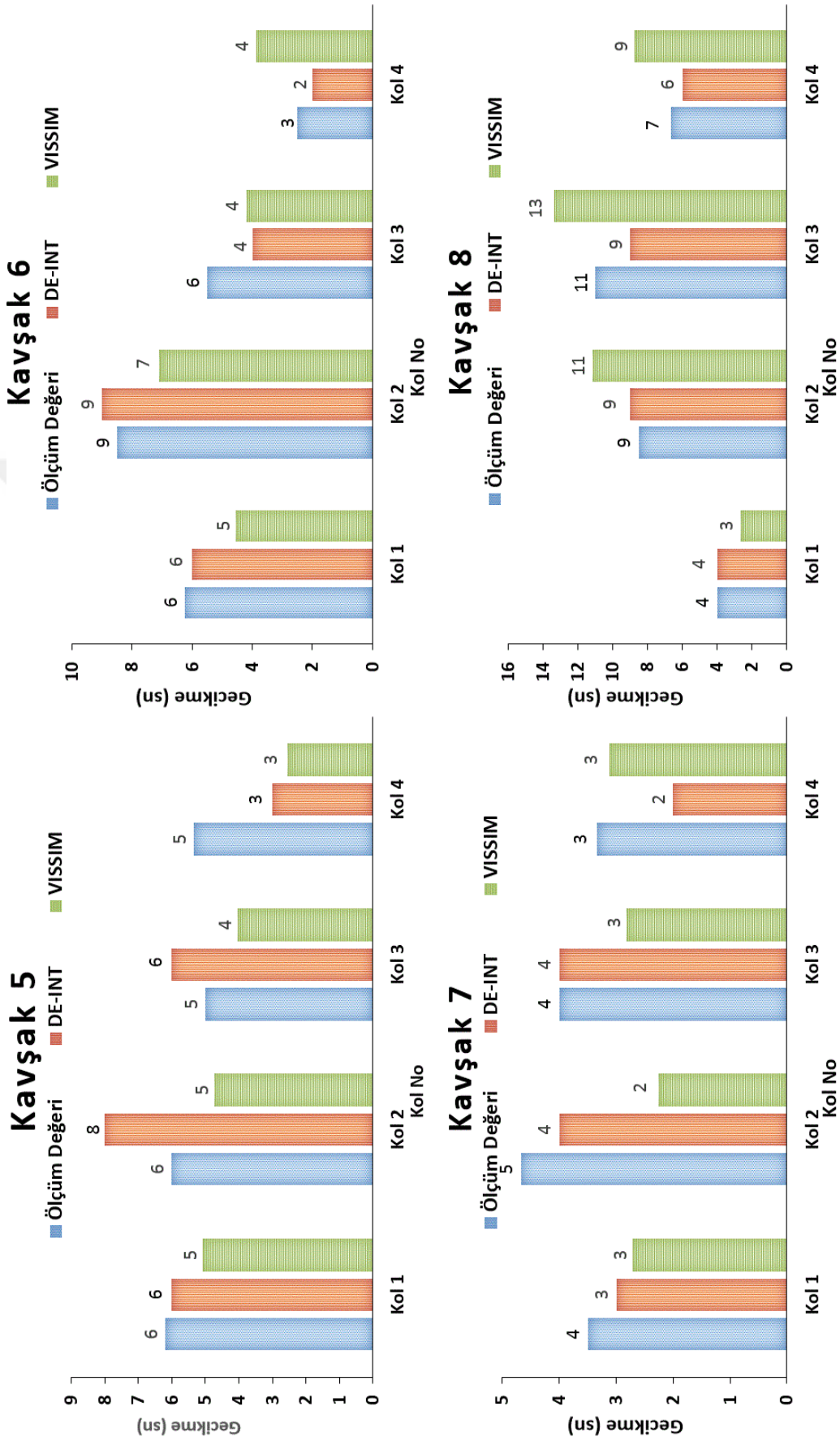


Kavşak 3



Kavşak 4





Şekil 4.61. İncelenen 8 farklı sinyalizasyon kavşağına ait ölçülen, DE-INT ve Vissim programları ile hesaplanan kuyruk uzunluğu değerlerinin (taşıt/devre) karşılaştırılması.

Çalışma kapsamında sinyalizе olmayan kavşaklara örnek olarak seçilen 9 numaralı kavşak daha önce de değinildiği üzere bu çalışmaya başlandığı ve verilerin toplandığı anda dur kontrollü sinyalizе olmayan dört kollu bir kavşaktır. Bu kavşakta özellikle sürücülerin geçiş önceliğine uymaması sebebiyle sürekli trafik kazaları meydana gelmektedir. Yetkililer bu çalışma devam ederken incelenen bu kavşakta karmaşa sayısını azaltarak trafik kazalarını önleyebilmek amacıyla bu kavşağı sinyalizе olmayan dur kontrollü dönel bir kavşak olarak modifiye etmiştir. Bu iki farklı kavşak türünü birbiriyle kıyaslayarak sürücü davranışlarındaki değişimi gözlemleyebilmek amacıyla kavşağın ilk halinde olduğu gibi kavşağın yeni halinden de zirve saatlerde her bir koldan 200 taşıt geçişi olmak üzere toplam 800 taşıt geçişi detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.28’de özetlenmiştir.

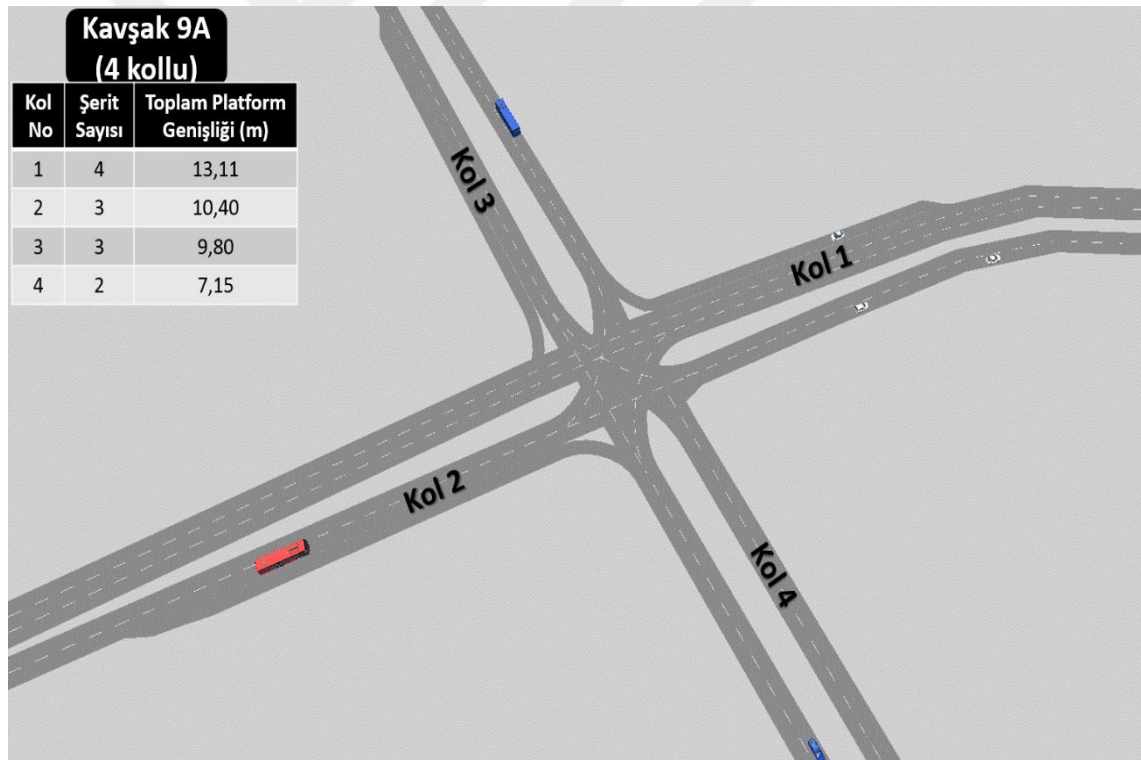
Çizelge 4.28. Dört kollu sinyalizе olmayan ve dönel kavşaklardaki taşıt hareketlerinin karşılaştırılması.

Kavşak No	Kavşaktaki Yeri	Sinyalizе Olmayan Kavşak Türü	Ortalama Bekleme Süresi (sn)	Taşıt Başına Karmaşa Sayısı	Taşıt Başına Durma Sayısı
1	Kavşak Girişi	Dört Kollu	0,42	0,43	0,14
		Dönel	0,75	0,15	0,55
	Kavşak İçi	Dört Kollu	0,21	0,55	0,27
		Dönel	0,89	0,50	0,98
2	Kavşak Girişi	Dört Kollu	0,46	0,60	0,10
		Dönel	0,83	0,12	0,61
	Kavşak İçi	Dört Kollu	0,56	0,39	0,23
		Dönel	1,15	0,29	0,79
3	Kavşak Girişi	Dört Kollu	2,13	0,49	0,46
		Dönel	3,51	0,18	0,89
	Kavşak İçi	Dört Kollu	0,83	0,34	0,44
		Dönel	1,55	0,25	0,88
4	Kavşak Girişi	Dört Kollu	0,40	0,55	0,07
		Dönel	0,95	0,16	0,62
	Kavşak İçi	Dört Kollu	1,19	0,45	0,14
		Dönel	2,01	0,46	0,62

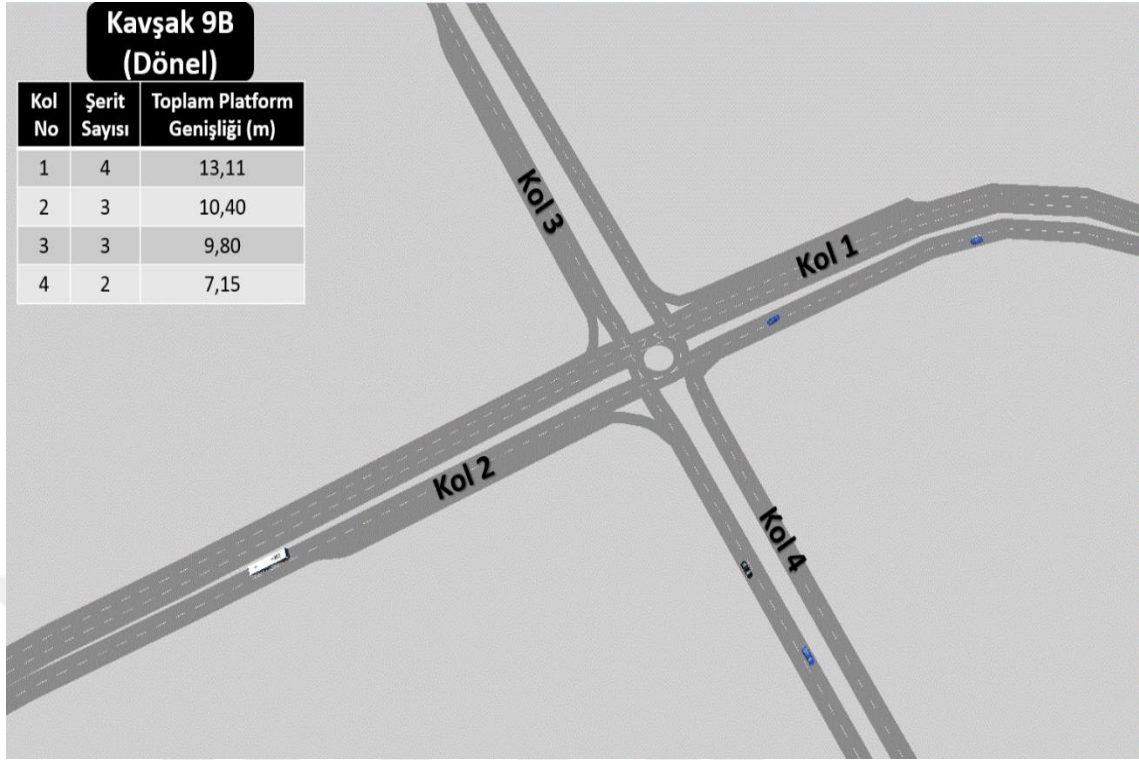
Çizelge 4.28. Devamı.

Ort.	Kavşak Girişi	Dört Kollu	0,85	0,52	0,19
		Dönel	1,51	0,15	0,67
	Kavşak İçi	Dört Kollu	0,70	0,43	0,27
		Dönel	1,40	0,38	0,82

Çizelge 4.28'e göre sinyalizasyonlu dört kollu kavşaklarda taşıtların kavşak girişi ve kavşak içerisindeki bekleme sürelerinin dönel kavşaklara göre daha kısa olduğu gözlemlenmektedir. Sinyalizasyonlu olmayan kavşaklardaki karmaşa sayısının (ayrılma, birleşme ve kesişme) dönel kavşaklardakine göre daha fazla olması bu sonucu desteklemektedir. Her iki kavşakta taşıt başına durma sayısı detaylı olarak incelendiğinde, dönel kavşaklarda taşıt başına durma sayısının hem kavşak girişi hem de kavşak içerisinde fazla olduğu ve bu durumun dönel kavşağın tasarım yapısından dolayı zorunlu olarak meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.62. Kavşak 9 sinyalizasyonlu olmayan dört kollu durum için DE-INT programı tarafından önerilen yeni geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.



Şekil 4.63. Kavşak 9'un sinyalizasyon olmayan dönel kavşak tasarımına göre DE-INT programı tarafından önerilen geometrik özelliklere göre Vissim programı yardımıyla analizi.

Yapılan Vissim analizlerine göre elde edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri iki farklı kavşak için Çizelge 4.29'da verilen şekilde özetlenmektedir.

Çizelge 4.29. Sinyalizasyon olmayan dört kollu ve dönel kavşaklar için Vissim ile hesaplanan gecikme (sn/taşıt) ve kuyruk uzunluğu (taşıt/devre) değerleri.

Kol No	Kavşak Türü	Gecikme Değeri (sn/taşıt)	Kuyruk Uzunluğu Değeri (Taşıt/Devre)
1	Dört Kollu	0,32	0
	Dönel	0,55	4
2	Dört Kollu	0,44	0
	Dönel	0,45	0
3	Dört Kollu	0,58	2
	Dönel	0,50	0

Çizelge 4.29. Devamı.

4	Dört Kollu	0,71	2
	Dönel	0,50	2
Ort.	Dört Kollu	0,51	1
	Dönel	0,50	2

9 numaralı sinyalizasyon olmayan kavşak için dört kollu ve dönel kavşak durumları için DE-INT programı ile önerilen geometrilere göre Vissim programında yapılan çizimler ve sonrasında analiz için yapılan simülasyona ait görseller ise Şekil 4.62 ve 4.63'te verilmektedir. 9 numaralı sinyalizasyon olmayan kavşak için dört kollu ve dönel kavşaklardaki geometri hatalarını gidermek için DE-INT programı ile önerilen yeni geometriler kullanılarak Vissim programında yapılan analizlere göre hem dört kollu hem de dönel kavşak için yapılacak geometri değişikliğinin kavşakların kollarındaki ortalama gecikme üzerinde çok fazla farklılık oluşturmadığı gözlemlenmektedir. Fakat DE-INT programı tarafından önerilen geometri değişikliğine göre dönel kavşak kollarındaki kuyruk uzunluğunun ise dört kollu kavşaktakine göre daha fazla olma eğiliminde olduğu belirlenmiş ve arazi gözlemlerinden elde edilen bulguları destekleyici bir sonuca ulaşılmıştır.

5. TARTIŞMA

Tez çalışmasında ilk olarak tezin amaçlarında da belirtildiği üzere, Türkiye’deki şehiriçi kavşak kollarında geometrik disiplinsizliklerden dolayı gözlemlenen düşük işletim performansları nicel olarak incelenmiştir. Bu amaçla Bölüm 3.3’te detaylı olarak anlatılan yöntemler kullanılarak Çizelge 4.1-4.16’da verilen ve kavşakların mevcut işletim performanslarını gösteren sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.1-4.16 detaylı olarak incelendiğinde, çalışmanın yapıldığı sinyalize kavşakların mevcut işletim performanslarının oldukça kötü olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sinyalize kavşak kollarındaki hizmet seviyeleri (LOS) şerit bazlı incelendiğinde, sinyalize kavşakların mevcut (geometrik disiplinsizlik, karmaşa ve ek şerit oluşumu görülen) durumuna göre 7 numaralı kavşağın D hizmet seviyesine, 1 numaralı kavşağın E hizmet seviyesine ve geriye kalan diğer tüm sinyalize kavşakların ise en kötü hizmet seviyesi olan F hizmet seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, kavşaklardaki şerit genişliklerinin fazla olmasının, geniş ve düzensiz yanal açıklıklar ile illegal ek şerit oluşumlarının görülmesinin, kavşakların mevcut işletim performanslarını arttırmak yerine daha da kötüleştirdiğini ortaya koymaktadır. Yani özetle, kavşak kollarında görülen illegal ek şerit oluşumlarının bile kavşaklarda iyi bir hizmet seviyesi görülmesi üzerinde pozitif bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Başka bir açıdan değerlendirildiğinde ise, Türkiye’deki şehiriçi sinyalize kavşakların daha iyi bir hizmet seviyesine sahip olması için ek şerit oluşumuna izin verilerek kavşak kollarındaki şerit sayılarının artırılmasının, bu kavşakların işletim performanslarında bir artışa değil aksine bazı kavşaklarda taşıt hareketlerinde karmaşaya sebep olduğu görülmüştür. İncelenen kavşaklar daha önce de belirtildiği üzere Antalya şehiriçinde ana arterler üzerinde yer almakta olup bugüne kadar kavşaklardaki işletim performanslarını arttırmak için yetkililerce sinyal planları üzerinde birçok kez değişiklik yapılmıştır. Fakat ne kadar çok ve farklı değişiklik yapılmış olsa da yapılan hiçbir değişiklik bu kavşaklarda düşük hizmet seviyelerinin görülmesi sorununu çözmemiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, incelenen bu tür geometrik disiplinsizliklerin olduğu kavşaklarda yapılacak farklı sinyal planlamalarının tek başına sorunu bu çözemeyeceğini tekrardan göstermiştir. Bu sorunu çözmek için bu çalışmada hedeflenildiği gibi kavşağı kullanan sürücülerin kurallara uyma, agresiflik vb. karakteristik özelliklerine göre kavşak geometrisinde tanısal bazlı düzenlenmeler yapılmasının gerekli açıktır.

Kavşakların mevcut performanslarının belirlenmesinden sonraki adımda ise yine çalışmanın amaçlarında da değinildiği üzere literatürde mevcut olan ve gelişmiş ülkeler tarafından şehiriçi kavşaklardaki mevcut durum göz önüne alınarak önerilen gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin, Türkiye gibi şehiriçi kavşaklarında geometri problemleri bulunan ülkeler için doğru sonuçlar vermeyeceğinin ispatlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla kavşaklarda doygun altı ve doygun üstü durumlar için gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yapan ve literatürde çok kullanılan yöntemlerden olan üç farklı yöntem (HCM 2010, HCM 2000 ve Avustralya) seçilmiştir. Seçilen bu yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalardan elde sonuçlar ile incelenen kavşaklardan arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasındaki farklılıklar hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.17 ve 4.18’de verilmiştir. Çizelge 4.17 ve 4.18 detaylı olarak incelendiğinde, gecikme ve kuyruk uzunluğu hesaplamaları için seçilen yöntemler kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca

seçilen yöntemlerin her birinin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği, yani farklı kavşaklarda farklı yöntemlerin gerçek değere daha yakın yani hata miktarı daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Fakat incelenen sekiz farklı sinyalize kavşaktaki ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerlerinin sekiz kavşak için ortalaması alındığında gecikme için ortalama en düşük hataya (%62,1) sahip olan yöntemin HCM 2000, kuyruk uzunluğu hesabı içinse ortalama en düşük hataya (%40,8) sahip olan yöntemin ise HCM 2010 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre seçilen kuyruk uzunluğu yöntemlerinin seçilen gecikme yöntemlerine göre kavşaklardaki mevcut durumu daha düşük hata ile ölçtüğü görülse de yine de bu hata miktarlarının oldukça yüksek olması seçilen yöntemlerin Türkiye'deki sinyalize kavşaklar için doğrudan kullanılabilir (efektif) olmadığını göstermektedir. Bu durum, bu çalışma kapsamında önerilen Türkiye ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik disiplinsizliklerin bulunduğu ülkelere özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Yapılan hesaplamalar ile gerekliliği ortaya konulan Türkiye'ye özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri önerebilmek amacıyla, seçilen bu üç farklı yöntem (HCM 2010; HCM 2000 ve Avustralya) Türkiye koşullarına göre Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemi kullanılarak modifiye edilmiş ve modifiye yeni yöntemler önerilmiştir. Modifiye yöntemler önerilmesindeki temel amaç, seçilen mevcut yöntemlerdeki bazı parametrelere ait sonuçların tamamıyla hatalı olmamasıdır. Çünkü seçilen bu yöntemlerin yapısında barındırdığı bazı hesap parametreleri, Türkiye'deki kavşaklarda dâhil olmak üzere hemen hemen tüm şehiriçi yollardaki kavşaklar için geçerli olup bu parametreler çok uzun gözlemler ve analizler ile elde edildiği için doğruluk oranı oldukça yüksektir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında doğru olan şeyleri sil baştan ve daha kısıtlı gözlemler ile yeniden önermek yerine mevcut yöntemlerdeki doğru olan parametrelere Türkiye için geçerli ilave parametreler (platform genişliği, mevcut şerit sayısı ve ek şerit sayısı) ekleyerek, Türkiye'ye özgü yeni ve modifiye denklemler önerilmiştir. Önerilen bu modifiye denklemler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler ile incelenen kavşaklardan arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasındaki hatalar irdelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21 ve 4.22'de verilmiştir. Çizelge 4.27 ve 4.28 incelendiğinde, modifiye yöntemler (Modifiye HCM 2010; Modifiye HCM 2000 ve Modifiye Avustralya) kullanılarak elde edilen değerler ile arazi gözlemleri ile elde edilen gerçek değerler arasında seçilen üç farklı yöntem (HCM 2010; HCM 2000 ve Avustralya) göre daha az hata olduğu tespit edilmiştir. Mevcut gecikme yöntemi için bu ortalama mutlak yüzdesel hata değeri %62,1 (HCM 2000) iken önerilen modifiye yöntem için bu hata değeri %9,5 (HCM 2010)'dur. Benzer şekilde kuyruk uzunluğu için mevcut yöntemle hesaplanan MAPE değeri %40,8 (HCM 2010) iken modifiye yöntemle hesaplanan bu değer %35,2'dir. (HCM 2010). Ayrıca seçilen mevcut yöntemlerde olduğu gibi önerilen modifiye yöntemlerinde her birisinin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği yani farklı kavşaklarda farklı modifiye yöntemlerin daha düşük hata ile hesap yaptığı belirlenmiştir. Çizelge 4.21 ve 4.22'de verilen sonuçlar daha detaylı incelendiğinde, bu çalışma kapsamında önerilen ve Türkiye'ye özgü olarak geliştirilen modifiye denklemlerin, incelenen kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini bu çalışma için seçilen ve gelişmiş ülkeler tarafından kullanılan yöntemlere göre daha düşük hata ile hesapladığı belirlenmiştir. Ayrıca en düşük hata miktarına sahip olan yöntem olan modifiye HCM 2010 kullanılarak hesaplanan gecikme değerinin

mevcut arazi gözlem değerine göre %1,8 daha az olduğu belirlenmiştir. Benzer durum kuyruk uzunluğu içinde incelendiğinde yine en düşük hata değerine sahip olan modifiye HCM 2010 yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalardan mevcut kuyruk sayısına göre %24,6'lık bir azalma görülmüştür. Yani bu çalışma kapsamında geliştirilen modifiye yöntemlerin literatürde yaygın olarak kullanılan ve gelişmiş ülkelere ait olan, onların yol ve kavşak karakteristiklerine özgü olarak tasarlanan yöntemlere göre Türkiye için daha doğru tahmin yaptığı görülmüştür. Yine analiz sonuçlarından önerilen modifiye denklemlerin düşük hata (MAPE %) miktarlarına sahip olması sebebiyle Türkiye'deki mevcut sinyalize kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğunu hesaplamak için uygulanabilir (efektif) olduğu saptanmıştır. Bu durum Türkiye'ye özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin ne kadar doğru bir adım olduğunu bir kez daha göstermiştir. Araştırmacıların, plancıların ve yetkililerin çalışma kapsamında önerilen modifiye bu yöntemleri kullanarak şehiriçi sinyalize kavşak kollarındaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluklarını kolaylıkla hesaplayabilmeleri için Bölüm 4.7.'de bahsedilen AN-CSI programı geliştirilmiş ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu programın geliştirilmesinde ana amaç Türkiye'de şehiriçi kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğunu hesaplamak isteyenlerin Türkiye'ye özgü olarak önerilen modifiye yöntemler ile gerçeğe yakın hesaplama yapmalarına katkı sağlamaktır.

Çalışma kapsamında önerilen bu yöntemler daha önce de değinildiği üzere yetkililere, ulaşım plancılarına ve araştırmacılara yalnız mevcut kavşaklardaki durumu hesaplayarak görme olanağı sağlamakta; mevcut geometri problemine yönelik herhangi bir çözüm önerisi getirememektedir. Bu çalışmanın hedefleri doğrultusunda bu soruna çözüm bulabilmek amacıyla Bölüm 4.8'de detaylı olarak anlatılan DE-INT programı geliştirilmiştir. Kavşak kollarında yeni geometrik tasarımlar yaparak bu yeni duruma göre gecikme ve kuyruk uzunluğu hesaplayan bu program ile yapılan hesaplamalardan, elde edilen kavşaklara ait sonuçlar Çizelge 4.23 ve 4.24'te verilen şekilde elde edilmiştir. Çizelge 4.23 ve 4.24 incelendiğinde DE-INT programı ile yapılan hesaplamalar ile elde edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri ile mevcut yöntemler kullanılarak elde edilen değerlerin arazi verileri ile kıyaslaması yapıldığında DE-INT ile önerilen değerlerin daha düşük hataya sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE %) değerlerinin incelenen sekiz kavşak için ortalaması alındığında gecikme için en düşük hataya (%9,6) sahip olan yöntemin Modifiye HCM 2010, kuyruk uzunluğu içinse ortalama en düşük hataya (%23,1) sahip olan yöntemin Modifiye HCM 2000 olduğu tespit edilmiştir. Bu da kavşak kollarında yeni geometrik tasarımlara göre gecikme hesabı için en uygun modifiye yöntemin HCM 2010, kuyruk uzunluğu hesabı içinse HCM 2000 yönteminin olabileceğini göstermektedir. Ayrıca yine önerilen modifiye yöntemler ve yeni kavşak karakteristiklerine göre her bir modifiye yöntemin farklı kavşaklarda farklı sonuçlar verdiği yani farklı kavşaklarda farklı modifiye yöntemlerin daha düşük hata ile hesap yaptığı belirlenmiştir. Fakat genel olarak değerlendirildiğinde, DE-INT programı geometrik disiplinsizliğin olduğu sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklarda illegal ek şerit oluşumunu ortadan kaldırarak, kavşak tasarımı yapabilmekte ve bu yeni kavşak karakteristiklerine göre sinyalize kavşaklar için tahmini bir gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabı yapabilmektedir. Bu program ile yapılan hesaplamalara göre dikkat çekilmesi gereken bir diğer önemli hususta DE-INT sonuçlarının (gecikme ve kuyruk uzunluğu) arazi gözlemi ile elde edilen sonuçlara göre fazla ya da eksik olması

(değişim) durumudur. Çizelge 4.23 ve 4.24'teki yeni geometrik durum için önerilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri incelendiğinde bu değerlerin ortalamasının arazi değerlerine göre daha düşük olduğu (- değişim) belirlenmiştir. Bu durum DE-INT programı ile kavşaklarda yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda her bir yöntem kendi içerisinde değerlendirildiğine gecikme ve kuyruk uzunluğunun azalma yönünde (gecikme için değişim -%4,1 ve kuyruk uzunluğu için değişim -%21,9) eğilimli olacağını göstermektedir. Yani kavşak kollarında yapılacak geometrik düzenlemeler ile kavşak performansının artış eğiliminde olması beklenmektedir.

Her ne kadar DE-INT programı ile yapılan analizlerden yukarıda verilen bulgulara ve yargılara ulaşılsa da DE-INT programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini mevcut gözlem değerleri ile karşılaştırılarak kesin bir yargıya varmak doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü program tarafından kavşak kollarında yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda kavşak kollarında görülecek mevcut kuyruk uzunluğu değerlerinin zaten kesinlikle değişmesi beklenmektedir. Çizelge 4.23 ve 4.24 ile Şekil 4.50 ve 4.51'deki karşılaştırmaların yapılmasındaki temel amaç geometrik düzenleme ile önerilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri ile şu anki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri arasındaki farklılığı görerek bir fikir edinmektir. Bir sonraki paragrafta DE-INT programı ile önerilen geometriye göre yapılan kuyruk uzunluğu hesabı ile Vissim programı ile bu yeni geometriye göre yapılan hesaplamalar karşılaştırılarak, bu konu daha detaylı ve açıklayıcı bir karşılaştırma ile aydınlatılmıştır.

Çalışmanın en önemli çıktılarından birisi olan DE-INT programına ait sonuçların doğruluğunun test edilmesi amacıyla DE-INT programı tarafından kavşaklar için önerilen yeni geometriler ve mevcut veriler kullanılarak Vissim programında her bir kavşak için mikro trafik simülasyonları yapılmıştır. Bu simülasyonlardan ve DE-INT programı kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.26 ve 4.27'de verilmiştir. Çizelge 4.26 ve 4.27'e göre araziden ölçülen gerçek gecikme değerleri ile DE-INT ve Vissim programlarının hesapladığı gecikme değerleri arasında DE-INT için ortalama %9,1'lik Vissim içinse ortalama %16,2'lik bir farklılık (MAPE %) olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde kuyruk uzunlukları içinse DE-INT programı ile yapılan hesaba göre ortalama %21,5, Vissim programı ile yapılan analizleri göre ise ortalama %26,8'lik bir farklılık ölçülmüştür. İki programın önerdiği sonuçlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde gecikmeye göre daha büyük hata miktarları görülmektedir. Bu da taşıt sayılarının tam sayı olarak alınması ve bu sebeple hataların daha büyük görünmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin kuyruk uzunluğu için arazideki gerçek değer 2 araç, hesaplanan değer 3 araç ise sistem bunu %50 hata gibi algılamaktadır. Hâlbuki bu iki sonuç arasında farklılık çok büyük değildir.

Elde edilen sonuçlara göre DE-INT programı ile hesaplanan gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin Vissim ile hesaplanan değerlere göre araziden ölçülen gözlem verilerine daha yakın olduğu görülmektedir. Fakat hesaplanan bu araziye yakınlık sonucundan ziyade DE-INT ve Vissim ile hesaplanan gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri arasındaki yakınlık oldukça önemlidir. Çünkü burada dikkat çekilmesi gereken temel husus bu yeni durum için DE-INT ve Vissim programlarının birbirine yakın sonuçlar vermesidir. Yapılan hesaplamalardan gecikme hesabı için iki program arasındaki hata farkının %7,1, kuyruk uzunluğu içinse bu farkın %5,3 olduğu tespit edilmiştir. Yine analiz sonuçlarına göre her iki program, yapılacak geometrik

düzenlemeler sonucunda kavşak kollarında meydana gelecek ortalama kontrol gecikmesinin mevcut duruma göre çok az artacağını (DE-INT için artış %0,9 ve Vissim için artış %1,3) göstermiştir. Fakat gecikmelerde meydana gelecek bu çok küçük artışa rağmen iki program tarafından önerilen kuyruk uzunluklarının (DE-INT için azalma %17,1 ve Vissim için azalma %15) mevcut duruma göre azalacağı belirlenmiştir. Bu sonuçlar önerilecek bu yeni duruma göre araçların yeni geometrik özelliklere sahip kavşaklarda daha düşük hızlarla ve daha dikkatli gideceğini göstermektedir. Bu da kavşak içinde güvenliğin artacağına yönelik önemli bir bulgudur. Yukarıda verilen DE-INT ve Vissim karşılaştırma sonuçlarına göre DE-INT programı Vissim programına göre daha iyi tahminde bulunuyor gibi görünse de iki program arasındaki hesap ve analiz yöntemlerindeki farklılıklar bu iki programdan birisinin kesinlikle daha iyidir denmesini mümkün kılmamaktadır. Fakat iki program arasındaki birbirine yakın sonuçlar, geliştirilen DE-INT programı ile yapılan hesaplamaların doğruluğunu desteklemektedir. Analizler sonucunda elde edilen yukarıdaki bulgulara göre iki program arasındaki hesap ve analiz yöntemlerindeki farklılıklardan dolayı herhangi bir programın kesinlikle daha iyidir denmesi mümkün değildir. Bu duruma göre gecikme ve kuyruk uzunluğu hesaplarından elde edilen iki program arasındaki yakın sonuçlar, geliştirilen DE-INT programının gecikme ve kuyruk uzunluğu hesabında doğru sonuçlar verdiğini desteklemektedir. Ayrıca analizlerden DE-INT ve Vissim ile elde edilen kuyruk uzunlukları incelendiğinde, tüm kavşak kollarındaki ortalama kuyruk uzunluklarının kendisinden önceki kavşakları etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 4.30). Yani bir başka ifade bu sonuç, kavşaklarda yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda oluşması beklenen kuyruk uzunluğunun incelenen kavşaktan önceki ve varsa sonraki kavşağı etkilemediğini göstererek geometrik düzenlemelerin yapılabilir olduğunu ve herhangi bir taşma sorunu olmayacağını ortaya koymuştur.

Çizelge 4.30. Kavşaklar arası uzunluklar ile DE-INT ve Vissim ile önerilen kuyruk uzunluklarının karşılaştırılması

Kavşaklar Arası		Analiz Programı	Hesaplanan Mesafe Cinsinden Ort. Kuyruk Uzunluğu (m)	Ölçülen Ort. Mesafe (m)	Etkileme Durumu
Kavşak No	Kavşak No				
2	3	DE-INT	83,8	1350	Etkilemiyor (<)
		Vissim	219,22		
3	2	DE-INT	45,7		Etkilemiyor (<)
		Vissim	69,3		
3	4	DE-INT	76,2	880	Etkilemiyor (<)
		Vissim	51,0		
4	3	DE-INT	68,6		Etkilemiyor (<)
		Vissim	42,4		

Çizelge 4.30. Devamı.

4	5	DE-INT	76,2	1400	Etkilemiyor (<)
		Vissim	44,6		
5	4	DE-INT	45,7		Etkilemiyor (<)
		Vissim	38,7		
5	6	DE-INT	61,0	760	Etkilemiyor (<)
		Vissim	34,7		
6	5	DE-INT	45,7		Etkilemiyor (<)
		Vissim	54,1		
6	7	DE-INT	68,6	1420	Etkilemiyor (<)
		Vissim	20,6		
7	6	DE-INT	22,9		Etkilemiyor (<)
		Vissim	17,2		
3	8	DE-INT	61,0	500	Etkilemiyor (<)
		Vissim	54,4		
8	3	DE-INT	45,7		Etkilemiyor (<)
		Vissim	67,0		
8	9	DE-INT	68,6	520	Etkilemiyor (<)
		Vissim	101,9		

Not: Kavşak No 1 ile 2 arasında fazla mesafe olması ve arada başka kavşaklar olması sebebiyle bu kavşaklar arası değerlendirme yapılmamıştır.

Önceki bölümlerde de dikkat çekildiği üzere Türkiye'deki sinyalize olmayan kavşaklarda sürücülerin kurallara itaatsiz olması ve agresif davranmasının yanı sıra kavşak geometrilerinin de hatalı olması bu tür kavşaklarda çok fazla kazaya sebep olmaktadır. Bu amaçla bu çalışma kapsamında incelenen sinyalize olmayan kavşakta hem dört kollu hem de dönel kavşak durumu arazi gözlemi ile elde edilen veriler yardımıyla (Çizelge 4.28) birbiriyle kıyaslanarak hangi kavşak türünün Türk sürücüler için daha uygun olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarının verildiği Çizelge 28'e göre sinyalize dört kollu kavşaklarda taşıtların kavşak girişi ve kavşak içerisindeki (sırasıyla 0,85 sn ve 0,70 sn) bekleme sürelerinin dönel kavşaklara göre (sırasıyla 1,51 sn ve 1,40 sn) daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Sinyalize olmayan dört

kollu kavşaklardaki taşıt karmaşa sayısının (kavşak girişi için 0,52 ve kavşak içi için 0,43) dönel kavşaklardakine (kavşak girişi için 0,15 ve kavşak içi için 0,38) göre daha fazla olması bu sonucu desteklemektedir. Yani dört kollu kavşaklar, kavşak tasarımının hatalı olması nedeniyle sürücülerini kurallara uymama konusunda teşvik ederek, kavşakta beklemeyen geçme isteği uyandırmakta ve durma ya da yavaşlamadan kaynaklı meydana gelebilecek gecikmeleri ve karmaşa sayısını azaltmaktadır. Her iki kavşakta taşıt başına durma sayısı detaylı olarak incelendiğinde, dönel kavşaklarda taşıt başına durma sayısının hem kavşak girişi hem de kavşak içerisinde fazla olduğu (sırasıyla $0,67 > 0,19$ ve $0,82 > 0,27$) ve bu durumun dönel kavşağın tasarım yapısından dolayı zorunlu olarak meydana geldiği görülmektedir. Yani özetle araziden elde edilen verilere göre kaza oranının yüksek olduğu sinyalizasyon olmayan kavşaklarda dönel kavşakların dört kollu kavşaklara göre daha güvenli olduğunu göstermektedir. 9 numaralı sinyalizasyon olmayan dört kollu ve dönel kavşaklardaki geometri hatalarını gidermek için DE-INT programı ile önerilen yeni geometrilere göre, Vissim programında yapılan analizlerden hem dört kollu hem de dönel kavşak için yapılacak geometri değişikliğinin kavşakların kollarındaki ortalama gecikme üzerinde çok fazla farklılık (dört kollu için 0,51 sn ve dönel için 0,50 sn) oluşturmadığı görülmektedir. Fakat DE-INT programı tarafından önerilen geometri değişikliğine göre dönel kavşak kollarındaki kuyruk uzunluğunun (2 taşıt) ise dört kollu kavşaktakine (1 taşıt) göre daha fazla eğiliminde olduğu belirlenmiş ve arazi gözlemlerinden elde edilen bulguları destekleyici bir sonuca ulaşılmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Türkiye'deki şehiriçi kavşak kollarında mevcut olan geometrik disiplinsizlikler tanısal bazlı olarak incelenerek bu sorunlara uygulanabilir çözümler geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında amaç bölümünde de değinildiği üzere öncelikle sinyalize kavşaklardaki mevcut geometri problemlerinin olduğu kavşaklardaki işletim performansları incelenmiştir. Sinyalize kavşak kollarındaki hizmet seviyelerinin (LOS) durumu kavşakların mevcut (geometrik disiplinsizlik, karmaşa ve ek şerit oluşumu görülen) durumuna göre değerlendirildiğinde, 7 numaralı kavşağın D, 1 numaralı kavşağın E ve geriye kalan diğer tüm sinyalize kavşakların ise en kötü hizmet seviyesi olan F hizmet seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre kavşaklardaki şerit genişliklerinin fazla olmasının, geniş ve düzensiz yanıl açıklıklar ile illegal ek şerit oluşumlarının görülmesinin, kavşakların mevcut işletim performanslarını arttırmak yerine daha da kötüleştirdiğini görülmüştür. Yani özetle, kavşak kollarında görülen illegal ek şerit oluşumlarının bile kavşaklarda iyi bir hizmet seviyesi görülmesi üzerinde pozitif bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmada, kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini hesaplamak amacıyla literatürde etkin olarak kullanılan üç farklı yöntem (HCM 2010, HCM 2000 ve Avustralya) ile mevcut sorunlu sinyalize kavşaklar için hesaplamalar yapılmıştır. Hesap sonuçlarına göre seçilen bu yöntemlerin Türkiye'deki şehiriçi kavşaklardaki gecikme için ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE) değerinin %62,1 (HCM 2000) kuyruk uzunluğu içinse bu değerin %40,8 (HCM 2010) olduğu belirlenmiştir. Böylelikle gelişmiş ülkeler tarafından sinyalize kavşaklar için önerilen gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin Türkiye'deki mevcut durumu doğru hesaplayamadığı (efektif olmadığı) görülmüş ve Türkiye gibi kavşak kollarında geometrik disiplinsizliklerin bulunduğu ülkelere özgü yeni gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin gerekliliği sayısal sonuçlarla ortaya konulmuştur.

Yapılan hesaplamalar ile gerekliliği ortaya konulan Türkiye'ye özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemleri önerilemek amacıyla, seçilen bu üç farklı yöntem (HCM 2010; HCM 2000 ve Avustralya) Türkiye koşullarına göre Yapay Arı Kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemi kullanılarak modifiye edilmiş ve modifiye yeni yöntemler önerilmiştir. Modifiye yöntemler önerilmesindeki temel amaç, seçilen mevcut yöntemlerdeki bazı parametrelere ait sonuçların tamamıyla hatalı olmamasıdır. Çünkü seçilen bu yöntemlerin yapısında barındırdığı bazı hesap parametreleri, Türkiye'deki kavşaklarda dâhil olmak üzere hemen hemen tüm şehiriçi yollardaki kavşaklar için geçerli olup bu parametreler çok uzun gözlemler ve analizler ile elde edildiği için doğruluk oranı oldukça yüksektir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında doğru olan şeyleri sil baştan ve daha kısıtlı gözlemler ile yeniden önermek yerine mevcut yöntemlerdeki doğru olan parametrelere Türkiye için geçerli ilave parametreler (platform genişliği, mevcut şerit sayısı ve ek şerit sayısı) ekleyerek, Türkiye'ye özgü yeni ve modifiye denklemler önerilmiştir. Önerilen bu modifiye yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalardan gecikme için en efektif yöntem olan Modifiye HCM 2010 yönteminin (%9,5 hata) en efektif mevcut yöntem olan HCM 2000 yönteminden %52,6 daha az hata ile hesap yaptığı belirlenmiştir. Benzer şekilde kuyruk uzunluğu için geliştirilen en efektif yöntem olan Modifiye HCM 2010 yönteminin (%35,2) mevcut en efektif yöntem olan HCM 2010 yönteminden %5,6 daha az hata ile hesap yaptığı tespit

edilmiştir. Sonuç olarak Türkiye'ye özgü olarak geliştirilen modifiye denklemlerin, incelenen kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini bu çalışma için seçilen ve gelişmiş ülkeler tarafından kullanılan yöntemlere göre daha düşük hata ile hesapladığı görülmüştür. Bu sonuç Türkiye'ye özgü gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesinin ne kadar doğru bir adım olduğunu açıkça göstermiştir. Araştırmacıların, plancıların ve yetkililerin çalışma kapsamında önerilen modifiye bu yöntemleri kullanarak şehiriçi sinyalize kavşak kollarındaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluklarını kolaylıkla hesaplayabilmeleri için AN-CSI (Mevcut Sinyalize Kavşakların Analizi = Analysis of Current Signalized Intersections) isimli bir program geliştirilmiştir. Bu programın geliştirilmesi ile birlikte Türkiye'de şehiriçi kavşaklardaki mevcut gecikme ve kuyruk uzunluğunu hesaplamak isteyen yetkililerin, araştırmacıların ve plancıların Türkiye'ye özgü olarak önerilen modifiye yöntemler ile gerçeğe yakın hesaplama yapmalarına destek olmak amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında önerilen bu yöntemler daha önce de değinildiği üzere yetkililere, ulaşım plancılarına ve araştırmacılara yalnız mevcut kavşaklardaki durumu hesaplayarak görme olanağı sağlamakta; mevcut geometri problemine yönelik herhangi bir çözüm önerisi getirememektedir. Bu çalışmanın hedefleri doğrultusunda bu soruna çözüm bulabilmek amacıyla Türkiye'deki şehiriçi sinyalize kavşaklarda mevcut olan geometri problemlerini çözmek için kavşak geometrisini optimize eden ve yeni geometriler öneren DE-INT (Kavşakların Tasarımı=Design of Intersections) isimli bir program geliştirilmiştir. Kavşak kollarında yeni geometrik tasarımlar yaparak bu yeni duruma göre gecikme ve kuyruk uzunluğu hesaplayan bu program ile yapılan hesaplamalardan elde edilen değerlerin arazi verileri ile kıyaslaması yapıldığında DE-INT ile önerilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin daha düşük bir hataya sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE %) değerlerinin incelenen sekiz kavşak için ortalaması alındığında gecikme için en düşük hataya (%9,6) sahip olan yöntemin Modifiye HCM 2010, kuyruk uzunluğu içinse ortalama en düşük hataya (%23,1) sahip olan yöntemin Modifiye HCM 2000 olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar DE-INT programı ile yapılan analizlerden yukarıda verilen sonuçlara ulaşılsa da DE-INT programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerini mevcut gözlem değerleri ile karşılaştırılarak kesin bir yargıya varmak doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü program tarafından kavşak kollarında yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda kavşak kollarında görülecek mevcut kuyruk uzunluğu değerlerinin zaten kesinlikle değişmesi beklenmektedir. Belirtilen bu duruma çözüm bulabilmek amacıyla DE-INT programı ile önerilen geometriye göre yapılan kuyruk uzunluğu hesabı ile Vissim programı ile bu yeni geometriye göre yapılan hesaplamalar karşılaştırılarak, bu konu daha detaylı ve açıklayıcı bir karşılaştırma yapılmıştır.

DE-INT ve Vissim programları kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasından araziden ölçülen gerçek gecikme değerleri ile DE-INT ve Vissim programlarının hesapladığı gecikme değerleri arasında DE-INT için ortalama %9,1'lik Vissim içinse ortalama %16,2'lik bir farklılık (MAPE %) olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde kuyruk uzunlukları içinse DE-INT programı ile yapılan hesaba göre ortalama %21,5, Vissim programı ile yapılan analizleri göre ise ortalama %26,8'lik bir farklılık ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre DE-INT programı ile hesaplanan gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin Vissim ile hesaplanan değerlere

göre araziden ölçülen gözlem verilerine daha yakın olduğu görülmektedir. Fakat hesaplanan bu araziye yakınlık sonucundan ziyade DE-INT ve Vissim ile hesaplanan gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri arasındaki yakınlık oldukça önemlidir. Çünkü burada dikkat çekilmesi gereken temel husus bu yeni durum için DE-INT ve Vissim programlarının birbirine yakın sonuçlar vermesidir. Yapılan hesaplamalardan gecikme hesabı için iki program arasındaki hata farkının %7,1, kuyruk uzunluğu içinse bu farkın %5,3 olduğu tespit edilmiştir. Yine analiz sonuçlarına göre her iki program, yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda kavşak kollarında meydana gelecek ortalama kontrol gecikmesinin mevcut duruma göre çok az artacağını (DE-INT için artış %0,9 ve Vissim için artış %1,3) göstermiştir. Fakat gecikmelerde meydana gelecek bu çok küçük artışa rağmen iki program tarafından önerilen kuyruk uzunluklarının (DE-INT için azalma %17,1 ve Vissim için azalma %15) mevcut duruma göre azalacağı belirlenmiştir. Bu sonuçlar önerilecek bu yeni duruma göre araçların yeni geometrik özelliklere sahip kavşak kollarında daha düşük hızlarla ve daha dikkatli gideceğini göstermektedir. Bu da kavşak içerisinde güvenliğin artacağına yönelik önemli bir bulgudur. Yukarıda verilen DE-INT ve Vissim karşılaştırma sonuçlarına göre DE-INT programı Vissim programına göre daha iyi tahminde bulunuyor gibi görünse de iki program arasındaki hesap ve analiz yöntemlerindeki farklılıklar bu iki programdan birisinin kesinlikle daha iyidir denmesini mümkün kılmamaktır. Fakat iki program arasındaki birbirine yakın sonuçlar, geliştirilen DE-INT programı ile yapılan hesaplamaların doğruluğunu desteklemektir. Ayrıca analizlerden DE-INT ve Vissim ile elde edilen kuyruk uzunlukları incelendiğinde, tüm kavşak kollarındaki ortalama kuyruk uzunluklarının kendisinden önceki kavşakları etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır. Yani bir başka ifade bu sonuç, kavşaklarda yapılacak geometrik düzenlemeler sonucunda oluşması beklenen kuyruk uzunluğunun incelenen kavşaktan önceki ve varsa sonraki kavşağı etkilemediğini göstererek geometrik düzenlemelerin yapılabilir olduğunu ve herhangi bir tasma sorunu olmayacağını ortaya koymuştur.

Çalışma kapsamında sinyalizasyon olmayan kavşaklardaki durumu incelemek amacıyla yapılan gözlem ve analizlerden, göre sinyalizasyon dört kollu kavşaklarda taşıtların kavşak girişi ve kavşak içerisindeki (sırasıyla 0,85 sn ve 0,70 sn) bekleme sürelerinin dönel kavşaklara göre (sırasıyla 1,51 sn ve 1,40 sn) daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Sinyalizasyon olmayan dört kollu kavşaklardaki taşıt karmaşa sayısının (kavşak girişi için 0,52 ve kavşak içi için 0,43) dönel kavşaklardakine (kavşak girişi için 0,15 ve kavşak içi için 0,38) göre daha fazla olması bu sonucu desteklemektedir. Yani dört kollu kavşaklar, kavşak tasarımının hatalı olması nedeniyle sürücülerini kurallara uymama konusunda teşvik ederek, kavşakta beklemeden geçme isteği uyandırmakta ve durma ya da yavaşlamadan kaynaklı meydana gelebilecek gecikmeleri ve karmaşa sayısını azaltmaktadır. Her iki kavşakta taşıt başına durma sayısı detaylı olarak incelendiğinde, dönel kavşaklarda taşıt başına durma sayısının hem kavşak girişi hem de kavşak içerisinde fazla olduğu (sırasıyla $0,67 > 0,19$ ve $0,82 > 0,27$) ve bu durumun dönel kavşağın tasarım yapısından dolayı zorunlu olarak meydana geldiği görülmektedir. Yani özetle araziden elde edilen verilere göre kaza oranının yüksek olduğu sinyalizasyon olmayan kavşaklarda dönel kavşakların dört kollu kavşaklara göre daha güvenli olduğunu göstermektedir. 9 numaralı sinyalizasyon olmayan dört kollu ve dönel kavşaklardaki geometri hatalarını gidermek için DE-INT programı ile önerilen yeni geometrilere göre, Vissim programında yapılan analizlerden, hem dört kollu hem de dönel kavşak için yapılacak geometri değişikliğinin kavşakların kollarındaki ortalama gecikme üzerinde

çok fazla farklılık (dört kollu için 0,51 sn ve dönel için 0,50 sn) oluşturmadığı görülmektedir. Fakat DE-INT programı tarafından önerilen geometri değişikliğine göre dönel kavşak kollarındaki kuyruk uzunluğunun (2 taşıt) ise dört kollu kavşaktakine (1 taşıt) göre daha fazla eğiliminde olduğu belirlenmiş ve arazi gözlemlerinden elde edilen bulguları destekleyici bir sonuca ulaşılmıştır

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sınırlı sayıda kavşakta yapılan gözlemlerden elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca literatürde etkin olarak kullanılan üç farklı yöntem temel alınarak Türkiye'ye özgü modifiye denklemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Türkiye'deki farklı şehirlerdeki daha çok kavşakta yapılacak gözlemler ile elde edilen verilerin literatürde mevcut olan daha fazla sayıda yöntem kullanılarak incelenmesi sonucunda Türkiye'deki genel durumu daha kapsayıcı gecikme ve kuyruk uzunluğu hesap yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Bu yönde yapılacak araştırmaların şehiriçi kavşaklardaki karmaşayı ortadan kaldırarak sürücülerdeki stresi azaltması ve kavşak güvenliğine önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca yapılacak bu tür çalışmalar ile yol ve kavşak planlaması ve inşası konusunda yetkili olan sorumluların, geometrik disiplinsizlik bulunmayan ve standartlara uygun yol ve kavşak inşaa etmeleri konusunda yol gösterici kılavuzlar hazırlanarak standartlara uygun kavşak uygulamalarının gerçekleştirilmesi teşvik edilebilecektir.

7. KAYNAKLAR

- Abdel-aty, M.A. and Radwan, A.E. 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis & Prevention*, 32 (5): 633-642.
- Akçelik, R. 1980. Time-Dependent expressions for delay, stop rate and queue length at traffic signals. Internal Report AIR 367-1. Australian Road Research Board, Vermont South, Australia.
- Akmaz, M.M. 2012. Konya'nın önemli sinyalizasyon kavşaklarının bilgisayar programı ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 103 s.
- Alçelik, N. 2010. Kent içi sinyalizasyon ve dönel kavşakların kapasite açısından karşılaştırılması, Ümraniye ilçesi örneğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 319 s.
- Al-Ghamdi, A.S. 2003. Analysis of traffic accidents at urban intersections in Riyadh. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (5): 717-724.
- Arıkan Öztürk, E., Çubuk, M.K., Arslan, D. ve Yüksel, E. 2007. Modern dönel kavşakların kapasite ve güvenlik yönünden incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4): 917-926.
- Aydar R. (2011). Karayolu kavşaklarının tipine karar verme sürecinde kapasite, güvenlik ve maliyet (kgm) parametrelerini optimize eden bir modelin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 123 s.
- Aydemir, T. 2006. Başlangıç-Son matrisinin izmir'deki dönel kavşak giriş kapasitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 168s.
- Aydoğdu, İ., Akın, A., and Saka, M.P. 2016. Design optimization of real world steel space frames using artificial bee colony algorithm with Levy flight distribution. *Advances in Engineering Software*, 92 (2016): 1-14.
- Ayfer, M.Ö. 1977. Trafik sinyalizasyonu. T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 7-82 s.
- Bao, S. and Boyle, L. 2009. Age-Related differences in visual scanning at median-divided highway intersections in rural areas. *Accident Analysis and Prevention*, 41 (1): 146-152.
- Basturk, B. and Karaboga, D. 2006. An Artificial Bee Colony (Abc) Algorithm for Numeric Function Optimization. In Proceedings of IEEEES Warm Intelligence Symposium, 12-14 May, Indianapolis, Indiana.
- Bonneson, J., Zimmerman, K. and Brewer M. 2003. Guidelines to reduce red light running. Project 4027-5. Transportation Institute, College Station, Texas.
- Braitman, K., Kirley, B., Ferguson, S. and Chaudray, N.(2007. Factors leading to older drivers' intersection crashes. *Traffic Injury Prevention*, 8 (3): 65-72.
- Çakıcı, Z. ve Murat, Y.Ş. 2016. Sinyalizasyon dönel kavşaklar için hesap yöntemi önerisi ve performans analizi. *İMO Teknik Dergi*, 27 (4): 7569-7592.

- Çavuş, H.K. ve Karaşahin, M. 2013. Kentiçi Modern Dönel Kavşaklarda Kural İhlalleri ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Çalışma. ss. 289-303, 4. Karayolu Trafik ve Güvenliği Sempozyumu, Ankara.
- Çetinkaya, G. 2008. Işıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 80 s.
- Devin, A., Candappa, N., Corben, B. and Logan, D. 2011. Designing safer roads to accommodate driver error. Project 09-006RSC. Curtin–Monash Accident Research Center, Curtin University, Bentley, Perth, Western Australia.
- Elvik, R. 2003. Effects of road safety of converting intersections to roundabouts: review of evidence from non-US studies. *Transport. Res. Rec.*, 1847 (2003): 1–10.
- Elvik, R. 2017. Road safety effects of roundabouts: A meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 99 (2017): 364-371.
- Eraslan, O. 2008. Işıklı kavşaklarda Amerikan ve Avustralya yöntemleri ile gecikme analizi ve örnek bir kavşak çözümü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 95 s.
- Federal Highway Administration (FHWA) 2014. Traffic Signal Timing Manual <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter3.htm> [Son erişim tarihi: 10.10.2017].
- Flannery, A. 2001. Geometric design and safety aspects of roundabouts. *Transport. Res. Record*, 1751 (2001): 76–81.
- Gass, S.I. and Assad, A.A. 2004. Annotated timeline of operations research: An informal history. Springer-Verlag, New York, 210 p.
- Gökkuş, Ü., Yıldırım, M.S. and Aydın, M.M. 2017. Estimation of container traffic at seaports by using several soft computing methods: A case of Turkish seaports. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017 (2017): 1-15.
- Google Maps 2017. <https://www.google.com.tr/maps> [Son erişim tarihi: 11.10.2016].
- Gross, F., Lyon, C., Persaud, B. and Srinivasan, R. 2013. Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis & Prevention*, 50 (2013): 234-241.
- Guo, F., Wang, X., and Abdel-Aty, M.A. 2010. Modeling signalized intersection safety with corridor-level spatial correlations. *Accident Analysis & Prevention*, 42 (1): 84-92.
- Günay B., Aydın M.M. ve Akgöl K. (2013). Modern Dönel Kavşaklara Sorunsuz Bir Dönüşümün Bilimsel Metodolojisi, Karayolu 3. Ulusal Kongresi (YTMK), ss.345-358, 25-27 Kasım, Ankara, Türkiye.
- Hasany, R.M. and Shafahi, Y. 2016. Ant colony optimisation for finding the optimal railroad path. In Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Transport, 170 (4): 218-230.
- Highway Capacity Manual (HCM) 2000. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.

- Highway Capacity Manual (HCM) 2010. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Hirulkar, P.L., Deshpande, R. and Bajaj, P. 2011. Optimization of Traffic Flow through Signalized Intersections Using PSO. In International Conference on Advanced Computing, Communication and Networks [ICACCN-11], ss. 434-437, 2-3 June, Chandigarh.
- İnançlı, M. 2012. Dönel kavşakların güvenliği ve Konya'daki bazı kavşakların incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 151 s.
- Kahaner, D., Moler, C. and Nash, S. 1989. Numerical Methods and Software, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 495.
- Kantorovich, L.V., and M.K. Gavurin. 1949. Primenenie matematicheskikh metodov v voprosakh analiza gruzopotokov [Russian; The application of mathematical methods to freight flow analysis]. Problemy povysheniya effektivnosti raboty transporta [Russian; Collection of Problems of Raising the Efficiency of Transport Performance], Akademiia Nauk SSSR, Moscow-Leningrad (1949): 110-138.
- Karaboğa, D. 2005. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Technical Report-TR06, Erciyes University, Kayseri.
- Karaboğa, D. and Basturk, B. 2007. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (Abc) algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39 (3): 459-471.
- Kaygısız, Ö. ve Şenbil, M. 2011. Şehir Planlamada Yol Ağı ve Kavşaklar Sorunu: Kazalar ve Kaza Çeşitlerinden Bir Bakış, Eskişehir Örneği. 2. Kentsel ve Bölgesel Araştırmalar Sempozyumu, ss. 133-144, 8-9 Aralık ODTÜ, Ankara, Türkiye.
- Keay, L., Jasti, S., Munoz, B., Turano, K., Munro, C. and Duncan, D. 2009. Urban and Rural Differences in Older Drivers' Failure to Stop at Stop Signs. *Accident Analysis and Prevention*, 41 (5): 995-1000.
- Kebab, W., Dixon, M. and Abdel-Rahim, A. (2007). Field measurement of approach delay at signalized intersections using point data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2027 (2007): 37-44.
- Koopmans, T.C. 1957. Three essays on the state of economic science. *British Journal for the Philosophy of Science*, 10 (37): 58-69.
- Koopmans, T.C. and Bausch, A.F. 1959. Selected topics in economics involving mathematical reasoning. *SIAM Review*, 1 (2): 79-148.
- Kutlu, K. 1993. Trafik tekniği. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 110-130; 261-298 s.
- Leontief, W.W. 1933. The use of indifference curves in the analysis of foreign trade, *The Quarterly Journal of Economics*, 47 (3): 493-503.
- Li, L., Persaud, B. and Shalaby, A. 2017. Using micro-simulation to investigate the safety impacts of transit design alternatives at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 100 (2017): 123-132.

- Li, S.B., Li, Y., Fu, B.B. and Dang, W.X. 2016. Study on simulation optimization of dynamic traffic signal based on complex networks. *Procedia Engineering*, 137 (2016): 1-10.
- Lord, D., Van Schalkwyk, I., Chrysler, S. and Staplin, L. 2007. A strategy to reduce older driver injuries at intersections using more accommodating roundabout design practices. *Accident Analysis & Prevention*, 39 (3): 427-432.
- Murat, Y.Ş. 2006. Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Teknik Dergi*, 17 (83): 3903-3916.
- Murat, Y.Ş. and Kikuchi, S. 2007. The fuzzy optimization approach: a comparison with the classical optimization approach using the problem of timing a Traffic signal. *Transportation Research Record*, 2024: 82-91.
- New England Section ITE Technical Committee (2014). Evaluation of average effective vehicle length in queue. *The New England Chronicle*, 54(1): 5-6.
- Park, B., Messer, C. and Urbanik, T. 1999. Traffic signal optimization program for oversaturated conditions: genetic algorithm approach. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*, 16 (83):133-142.
- Persaud, B.N., Retting, R., Garder, P. and Lord, D. 2001. Observational before-after study of U.S. roundabout conversions using the Empirical Bayes Method. *Transport. Res. Rec.*, 1751 (2001): 1-8.
- Saka, M.P. and Doğan, E. 2012. Recent developments in metaheuristic algorithms: A review. *Computational Technology Reviews*, 5 (1): 31-78.
- Saplıoğlu, M. ve Karaşahin, M. 2010. Şehiriçi Kontrolsüz Eşdüzey Kavşak Kazalarını Etkileyen Unsurların Değerlendirilmesi. *SDU International Technologic Sciences*, 2 (2): 26-49.
- Sonuç, T. 1975. Karayolu tekniği: Trafik güzergâh ekonomi toprak işleri. Sermet Matbaası, İstanbul, 173-201 s.
- Staplin, L., Locoo, K., Byington, S. and Harkey, D. 2001. Highway design handbook for older drivers and pedestrians. Publication No. FHWA-RD-01-103. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Sun, D., Chang, Y. and Zhang, L. 2012. An ant colony optimisation model for traffic counting location problem. *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 165 (3): 175-185.
- Takemoto, M., Kosaka, H. and Nishitani, H. 2008. A Study on the Relationships Between Unsafe Driving Behaviors and Driver's Inner Factors When Entering a Non-Signalized Intersection. *Journal of Computers*, 9 (3): 39-49.
- Tanyel, S. ve Varlıorpak, Ç. 1998. Yeni Tip Dönel Kavşak Uygulama Örnekleri, 4. Ulaştırma Kongresi, 3-5 Haziran, Denizli.
- Tuncuk, M. ve Karaşahin, M. 2005. Şehiriçi Eşdüzey Kavşak Geometrilerinin ve Kazalara Etkilerinin İncelenmesi. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, ss. 470-483, 24-25 Eylül, Antalya.
- Tunç, A. 2003. Trafik mühendisliği ve uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti, Ankara, 655-783 s.

- Türkay, M. 2011. Optimizasyon modelleri ve çözüm metotları. <http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/optimizasyon.pdf>. [Son erişim tarihi: 11.10.2016].
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2016. Trafik kaza istatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21611> [Son erişim tarihi: 06.05.2017].
- Umar, F. ve Yayla, N. 1992. Yol İnşaatı. *İstanbul Üniversitesi İnşaat Fakültesi Dergisi*, 1333 (10): 38-45.
- Vrieling, J.H., de Waard, D. and Brookhuis, K.A. 2014. Driving behaviour while driving through two types of road works. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3 (3): 141-148.
- Wang, J. and Deng, W. 2015. Optimizing capacity of signalized road network with reversible lanes. *Transport*, 2015: 1-11.
- Wang, X. and Abdel-Aty, M.A. 2007. Right-Angle Crash Occurrence at Signalized Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2219 (2007):156–168.
- Wong, C.K., Wong, S.C. and Tong, C.O. 2006. A lane-based optimization method for the multi-period analysis of isolated signal-controlled junctions. *Transportmetrica*, 2 (1): 53–85.
- Wong, S.C. 1996. Group-based optimisation of signal timings using the TRANSYT traffic model. *Transport. Res. B.*, 30 (3): 217–244.
- Wong, S.C. and Yang, H. 1997. Reserve capacity of a signal-controlled road network. *Transport. Res. B.*, 31 (5): 397–402.
- Wood, J.S., Gooch, J. P. and Donnell, E.T. 2015. Estimating the safety effects of lane widths on urban streets in Nebraska using the propensity scores-potential outcomes framework. *Accident Analysis & Prevention*, 82 (2015): 180-191.
- Xie, K., Wang, X., Huang, H. and Chen, X. 2013. Corridor-level signalized intersection safety analysis in Shanghai, China using Bayesian hierarchical models. *Accident Analysis & Prevention*, 50(12): 25-33.
- Yao, S., Knoop, V.L. and Van Arem, B. 2017. Optimizing traffic flow efficiency by controlling lane changes: Collective, group, and user Optima. *Transportation research record: Journal of the Transportation Research Board*, 26 (22): 96-104.
- Yüksel, E. 2007. Modern dönel kavşakların kapasite ve trafik güvenliği yönünden incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 174s.
- Zhang, L., Gou, J. and Jin, M. 2012. Model of integrated corridor traffic optimization. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*, 23 (11): 108-116.
- Zheng, J., Sun, J. and Yang, J. 2015. Relationship of lane width to capacity for urban expressways. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*, 24 (83): 10-19.

8. EKLER

EK 1

EK 1.1. Analizlerde kullanılan Yapay Arı Kolonisine (YAK) optimizasyon yöntemine ait kodlar.

Sub ABC()

Dim i, j, k, T, FoodS, iter, TDS, Limit, MaxIter, Levy, Greedy As Integer

Dim sect(), nvar(), Colony(), Trial(), GlobalP() As Integer

Dim lb(), ub(), incr(), Var(), ObjVal(), fitemp(), Prob() As Double

Dim Obj, GlobalBest, fitmax As Double

Dim Param2Change, neighbour, loc As Integer

Call Okuma

FoodS = Sheets("Opt_Calismasi").Range("B2").Value

TDS = Sheets("Opt_Calismasi").Range("B3").Value

Limit = Sheets("Opt_Calismasi").Range("B4").Value

Levy = Sheets("Opt_Calismasi").Range("B5").Value

Greedy = Sheets("Opt_Calismasi").Range("B6").Value

MaxIter = Sheets("Opt_Calismasi").Range("B7").Value

ReDim sect(TDS), nvar(TDS), ub(TDS), lb(TDS), incr(TDS)

For i = 1 To TDS

lb(i) = Sheets("Opt_Calismasi").Cells(i + 2, 6).Value

ub(i) = Sheets("Opt_Calismasi").Cells(i + 2, 7).Value

incr(i) = Sheets("Opt_Calismasi").Cells(i + 2, 8).Value

nvar(i) = Int((ub(i) - lb(i)) / incr(i)) + 1

Next i

ReDim Var(TDS, Int(WorksheetFunction.Max(nvar))), Colony(FoodS, TDS)

ReDim ObjVal(FoodS), fitemp(FoodS), Prob(FoodS)

ReDim Trial(FoodS), GlobalP(TDS)

For i = 1 To TDS

For j = 1 To nvar(i)

Var(i, j) = lb(i) + incr(i) * (j - 1)

Next j

Next i

'Step 1 Randomly initial Solution

'-----

i = 1: GlobalBest = 1E+39: iter = 1

Do While i <= FoodS And iter < MaxIter

2:

For j = 1 To TDS

sect(j) = Int((nvar(j) - 1) * Rnd()) + 1

Next j

'check same solution in pool

If i < 2 Then

For j = 1 To i - 1

For k = 1 To TDS

If sect(k) <> Colony(j, k) Then

GoTo 1

End If

Next k

GoTo 2

1:

Next j

End If

```

Call Evaluate(sect, ObjVal(i), Var, TDS, 0)

iter = iter + 1

Sheets("Opt_Calismi").Range("B8").Value = iter

For k = 1 To TDS
    Colony(i, k) = sect(k)
Next k

If ObjVal(i) < GlobalBest Then
    GlobalBest = ObjVal(i)
    For k = 1 To TDS
        GlobalP(k) = sect(k)
    Next k
End If

Trial(i) = 0
i = i + 1
Loop

Do While iter < MaxIter

'Step 2 Employed phase
'-----

For i = 1 To FoodS
    For j = 1 To TDS
        sect(j) = Colony(i, j)
    Next j

    Param2Change = Int(Rnd() * TDS) + 1
    neighbour = Int(Rnd() * FoodS) + 1

    Do While neighbour = i
        neighbour = Int(Rnd() * FoodS) + 1

```

```

Loop
If neighbour > FoodS Then neighbour = FoodS
If Param2Change > TDS Then Param2Change = TDS
sect(Param2Change) = Colony(i, Param2Change) + Int((Colony(i,
Param2Change) - Colony(neighbour, Param2Change)) * (Rnd() - 0.5) * 2#)
'Arrange between lower and upper bounds
If sect(Param2Change) < 1 Then sect(Param2Change) = 1
If sect(Param2Change) > nvar(Param2Change) Then sect(Param2Change) =
nvar(Param2Change)
'check same solution in pool
For j = 1 To FoodS
  For k = 1 To TDS
    If sect(k) <> Colony(j, k) Then
      GoTo 3
    End If
  Next k
  Trial(i) = Trial(i) + 1
  GoTo 4
3:
Next j
Call Evaluate(sect, Obj, Var, TDS, 0)
iter = iter + 1
Sheets("Opt_Calismi").Range("B8").Value = iter
'Greedy Selection
If Greedy = 0 Then
  loc = i
Else

```

```

        loc = Application.Match(Application.Min(ObjVal), ObjVal, 0)
    End If
    If Obj < ObjVal(loc) Then
        ObjVal(loc) = Obj
        For k = 1 To TDS
            Colony(loc, k) = sect(k)
        Next k
        If Obj < GlobalBest Then
            GlobalBest = Obj
            For k = 1 To TDS
                GlobalP(k) = sect(k)
            Next k
        End If
    Else
        Trial(i) = Trial(i) + 1
    End If

4:
Next i

'Step 3 Onlooker phase
'-----

'CalculateProbabilities
fitmax = 0
For i = 1 To FoodS
    fitemp(i) = 1 / (1 + ObjVal(i))
    If fitemp(i) > fitmax Then
        fitmax = fitemp(i)
    End If
Next i

```

```

    End If
Next i
For i = 1 To FoodS
    Prob(i) = (0.9 * fitemp(i) / fitmax) + 0.1
Next
i = 1
T = 0
Do While T < FoodS
    If Rnd() < Prob(i) Then
        For j = 1 To TDS
            sect(j) = Colony(i, j)
        Next j
        T = T + 1
        Param2Change = Int(Rnd() * TDS) + 1
        neighbour = Int(Rnd() * FoodS) + 1
        Do While neighbour = i
            neighbour = Int(Rnd() * FoodS) + 1
        Loop
        If neighbour > FoodS Then neighbour = FoodS
        If Param2Change > TDS Then Param2Change = TDS
        sect(Param2Change) = Colony(i, Param2Change) + Int((Colony(i,
Param2Change) - Colony(neighbour, Param2Change)) * (Rnd() - 0.5) * 2#)
        'Arrange between lower and upper bounds
        If sect(Param2Change) < 1 Then sect(Param2Change) = 1
        If sect(Param2Change) > nvar(Param2Change) Then sect(Param2Change)
= nvar(Param2Change)
    End If
Next i

```

```

'check same solution in pool
For j = 1 To FoodS
    For k = 1 To TDS
        If sect(k) <> Colony(j, k) Then
            GoTo 5
        End If
    Next k
    Trial(i) = Trial(i) + 1
    GoTo 6
5:
Next j
Call Evaluate(sect, Obj, Var, TDS, 0)
iter = iter + 1
Sheets("Opt_Calismasi").Range("B8").Value = iter
'Greedy Selection
If Greedy = 0 Then
    loc = i
Else
    loc = Application.Match(Application.Min(ObjVal), ObjVal, 0)
End If
If Obj < ObjVal(loc) Then
    ObjVal(loc) = Obj
    For k = 1 To TDS
        Colony(loc, k) = sect(k)
    Next k
    If Obj < GlobalBest Then

```



```

        GlobalBest = Obj
        For k = 1 To TDS
            GlobalP(k) = sect(k)
        Next k
    End If
Else
    Trial(i) = Trial(i) + 1
End If
6:
    End If
    i = i + 1
    If i = FoodS + 1 Then i = 1
Loop
'Step 4 Scout phase
'-----
    For i = 1 To FoodS
        If Trial(i) > Limit And ObjVal(i) <> GlobalBest Then
            Trial(i) = 0
            If Levy = 1 Then
                Call get_cuckoos(sect, i, Colony, GlobalP, TDS)
            Else
                sect(Int(Rnd * TDS) + 1) = Int((nvar(Int(Rnd * TDS) + 1) - 1) * Rnd())
                + 1
            End If
        End If
        For j = 1 To TDS
            If sect(j) > nvar(j) Then: sect(j) = nvar(j)

```

```

    If sect(j) < 1 Then: sect(j) = 1
Next j
'check same solution in pool
For j = 1 To FoodS
    For k = 1 To TDS
        If sect(k) <> Colony(j, k) Then
            GoTo 7
        End If
    Next k
    GoTo 8
7:
Next j
Call Evaluate(sect, Obj, Var, TDS, 0)
iter = iter + 1
Sheets("Opt_Calismasi").Range("B8").Value = iter
ObjVal(i) = Obj
For k = 1 To TDS
    Colony(i, k) = sect(k)
Next
If ObjVal(i) < GlobalBest Then
    GlobalBest = ObjVal(i)
    For k = 1 To TDS
        GlobalP(k) = sect(k)
    Next k
End If
8:

```

```

        End If
    Next i
Loop
If GlobalBest < 1E+40 Then
    For i = 1 To TDS
        Sheets("Opt_Calismasi").Cells(i + 2, 9).Value = Var(i, GlobalP(i))
    Next i
    Call Evaluate(GlobalP, Obj, Var, TDS, 1)
    Sheets("Opt_Calismasi").Cells(TDS + 3, 9).Value = Obj
Else
    MsgBox ("Feasible Solution is not found")
End If
End Sub

Sub Evaluate(sect, Obj, Var, TDS, Wrt)
Dim Deger() As Double
Dim i As Integer
ReDim Deger(UBound(sect))

    For i = 1 To UBound(sect)
        Deger(i) = Var(i, sect(i))
    Next i

    Call HCM_2010(Deger, Obj, Wrt)
End Sub

Sub get_cuckoos(sect, TH, CNST, Gparams, TDS)

    Dim BETA, GAMMA1, GAMMA2, SIGMA, URN, VRN, RND1, RZD, RKD,
STEP1, STSZ, RVD As Double

    Dim KL, int1 As Integer

```

'Levy(flights)

'Levy(exponent And coefficient)

' For details, see equation (2.21), Page 16 (chapter 2) of the book

' X. S. Yang, Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, 2nd Edition, Luniver Press, (2010).

BETA = 3# / 2#

GAMMA1 = 1.32934038817914

GAMMA2 = 0.906402477055477

SIGMA = ((GAMMA1 * Sin(Application.Pi() * BETA / 2)) / (GAMMA2 * BETA * 2 ^ ((BETA - 1) / 2))) ^ (1 / BETA)

For KL = 1 To TDS

' This is a simple way of implementing Levy flights

' For standard random walks, use step=1;

RND1 = -3 + 6 * Rnd()

RZD = -3 + 6 * Rnd()

URN = RND1 * SIGMA

VRN = RZD

' Levy flights by Mantegna's algorithm

STEP1 = URN / (Math.Abs(VRN)) ^ (1 + BETA)

' In the next equation, the difference factor (s-best) means that

' when the solution is the best solution, it remains unchanged.

STSZ = 0.01 * STEP1 * (CNST(TH, KL) - Gparams(KL))

RKD = -3 + 6 * Rnd()

' Here the factor 0.01 comes from the fact that L/100 should be the typical

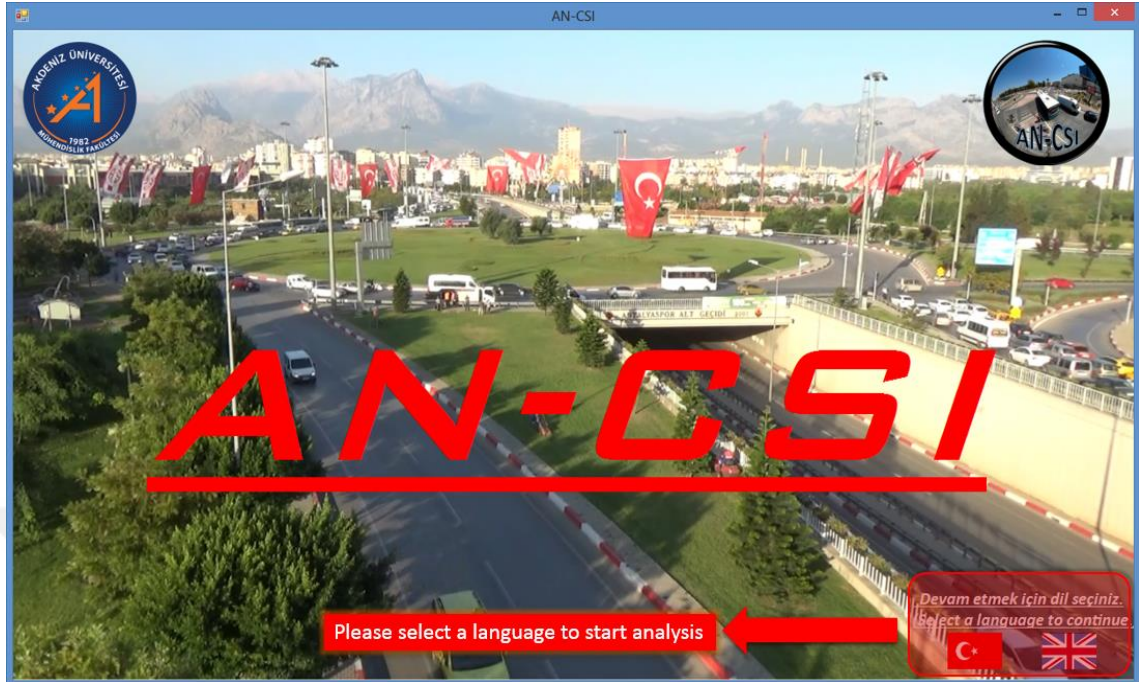
' step size of walks/flights where L is the typical lengthscale;

' otherwise, Levy flights may become too aggressive/efficient,

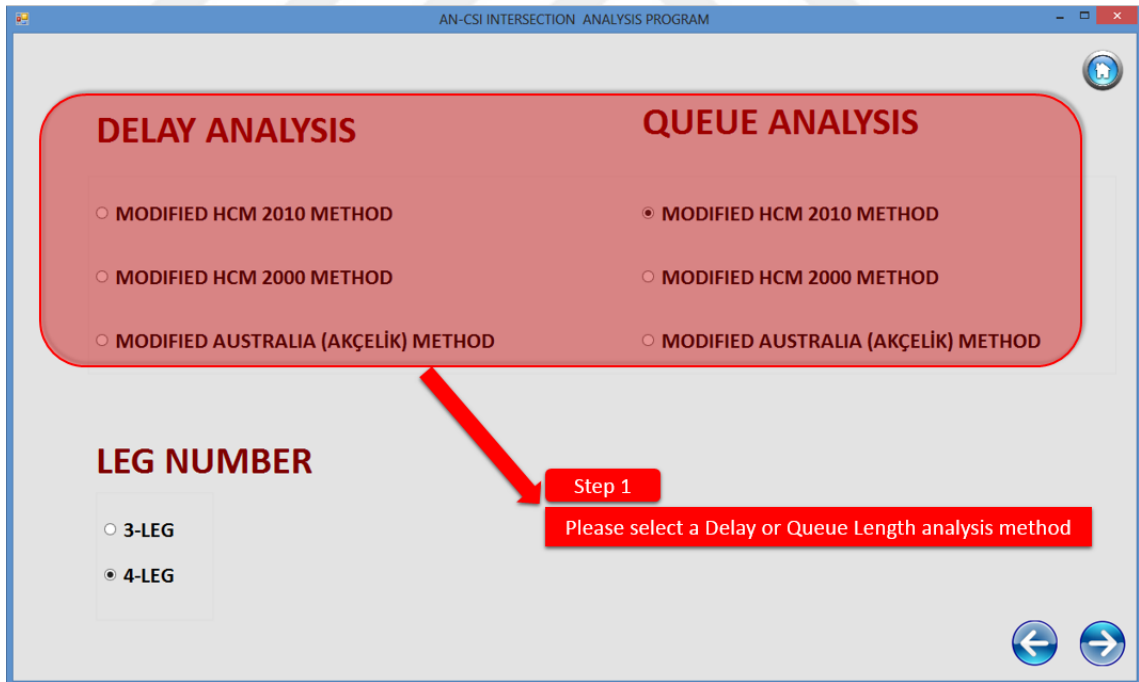
' which makes new solutions (even) jump out side of the design domain

```
' (and thus wasting evaluations).  
' Now the actual random walks or flights  
RVD = Rnd()  
If RVD > 0.4 Then  
    int1 = 0  
Else  
    int1 = Int(-2 + 4 * RVD)  
End If  
sect(KL) = Int(Gparams(KL)) + Int(STSZ * RKD) + int1  
Next KL  
End Sub
```

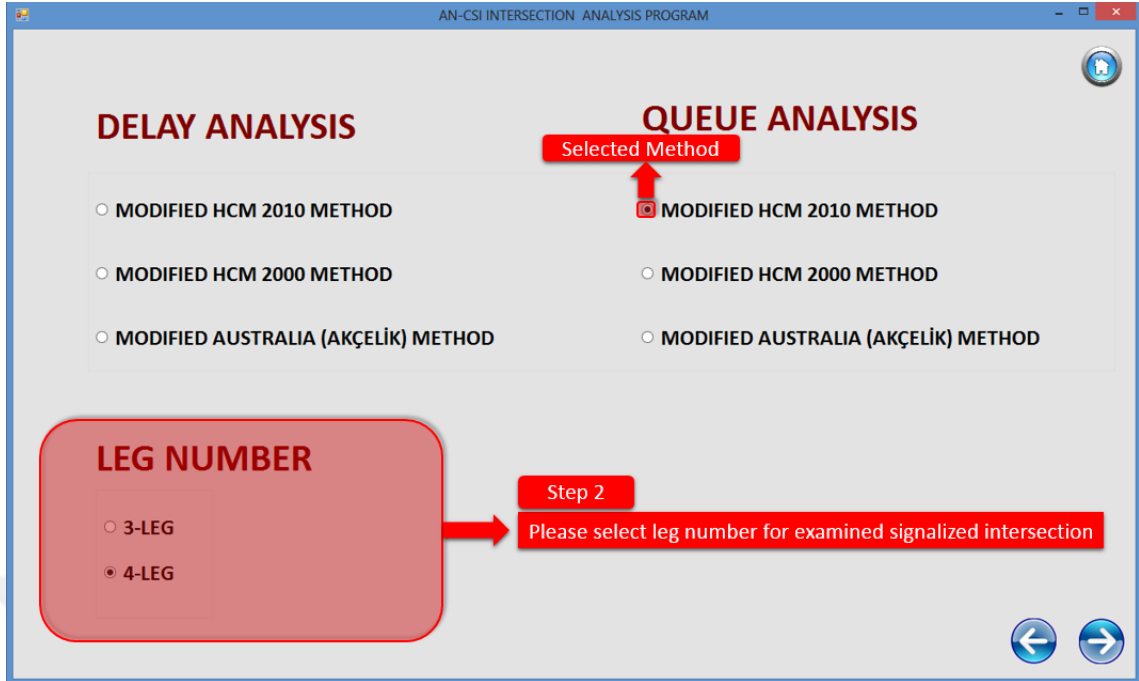
EK 2



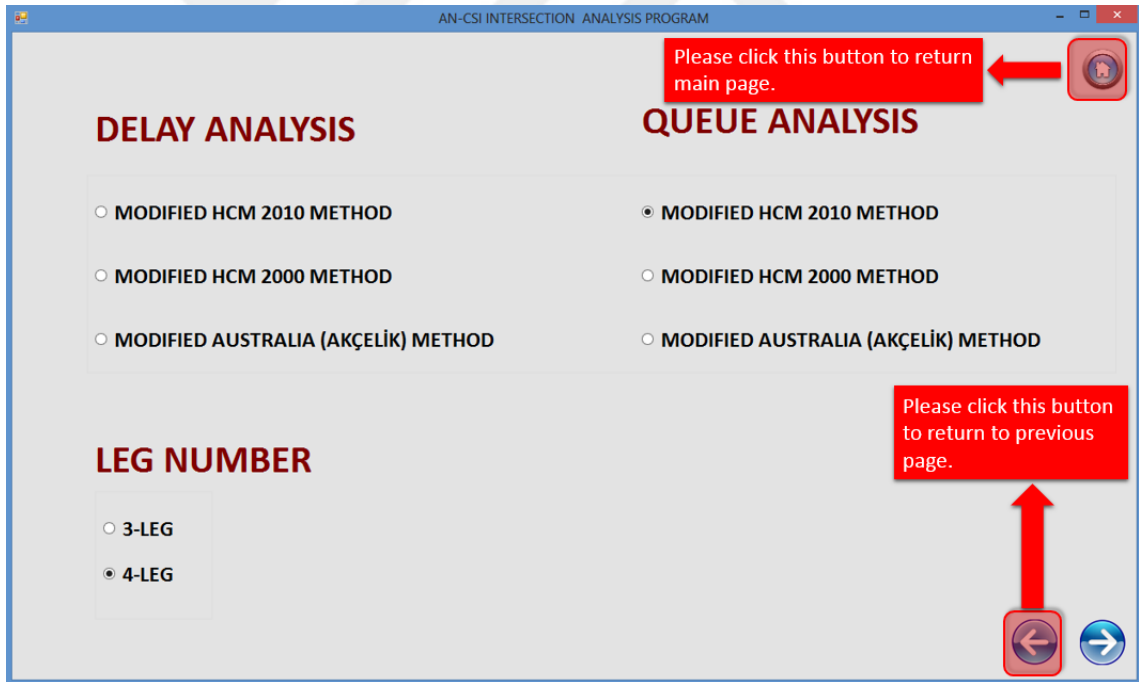
EK 2.1. AN-CSI programı ana sayfası.



EK 2.2. AN-CSI programında dil seçimi sonrasında gelen yöntem ve kavşak türü seçim ekranı.



EK 2.3. AN-CSI programında yöntem türü ve kavşak kol sayısının seçilmesi.



EK 2.4. Ana sayfaya dönmek ya da bir önceki sayfaya gitmek için yapılması gereken işlemler.

AN-CSI INTERSECTION ANALYSIS PROGRAM

DELAY ANALYSIS

- ☐ MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

QUEUE ANALYSIS

- ☐ MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

LEG NUMBER

- ☐ 3-LEG
- ☒ 4-LEG

Step 3

After selection of analysis method and leg number, please click this button to go to next page.

EK 2.5. Yöntem ve kavşak türünün seçilmesi ile sonrasında hesaplama sayfasına geçilmesi.

AN-CSI INTERSECTION ANALYSIS PROGRAM

Queue Length Analysis According to Modified HCM 2010 Method

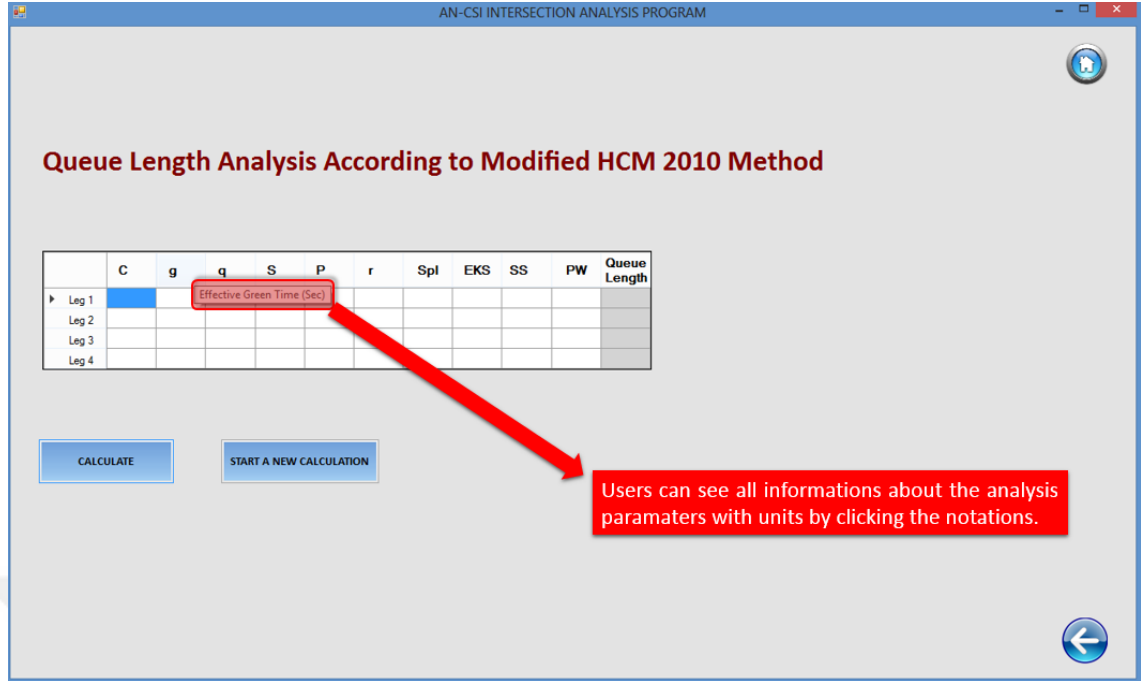
	C	g	q	S	P	r	Spl	EKS	SS	PW	Queue Length
Leg 1											
Leg 2											
Leg 3											
Leg 4											

Step 4

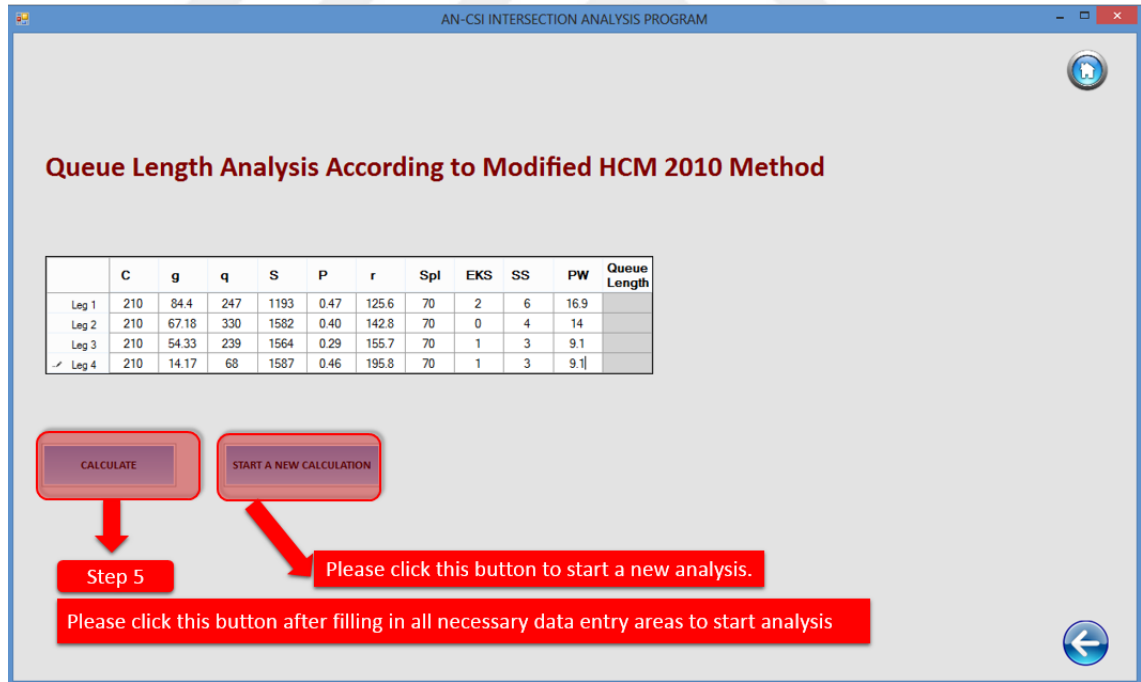
After selection of analysis method and leg number, this table will be displayed to fill in. Please fill in all necessary areas to start analysis.

CALCULATE START A NEW CALCULATION

EK 2.6. Seçilen yöntemle hesaplama yapabilmek için doldurulması gereken alanlar.



EK 2.7. Kullanıcıların ilgili hücreleri doldurmadan önce girmesi gereken veriler ve bu verilerin birimleri hakkında bilgi alması.



EK 2.8. Analiz için gerekli tüm hücrelerin doldurulması (verilerin girilmesi) ve hesaplama işlemine geçilmesi.

AN-CSI INTERSECTION ANALYSIS PROGRAM

Queue Length Analysis According to Modified HCM 2010 Method

	C	g	q	S	P	r	Spl	EKS	SS	PW	Queue Length
Leg 1	210	84.4	247	1193	0.47	125.6	70	2	6	16.9	7.00
Leg 2	210	67.18	330	1582	0.40	142.8	70	0	4	14	10.00
Leg 3	210	54.33	239	1564	0.29	155.7	70	1	3	9.1	8.00
Leg 4	210	14.17	68	1587	0.46	195.8	70	1	3	9.1	1.00

Step 6
Obtaining of analysis results

CALCULATE **START A NEW CALCULATION**

Please click this button to start a new analysis

EK 2.9. Hesaplama sonuçlarının elde edilmesi.

Users will meet with different analysis screens after selection of different delay or queue length methods as shown in below.

Delay Analysis According to Modified HCM 2010 Method

	C	g	X	EKS	SS	PW	Delay
Leg 1							
Leg 2							
Leg 3							
Leg 4							

Queue Length Analysis According to Modified HCM 2010 Method

	C	g	q	S	P	r	Spl	EKS	SS	PW	Queue Length
Leg 1											
Leg 2											
Leg 3											
Leg 4											

Delay Analysis According to Modified HCM 2000 Method

	C	g	X	Q	Qb	EKS	SS	PW	T	P	Delay
Leg 1											
Leg 2											
Leg 3											
Leg 4											

Queue Length Analysis According to Modified HCM 2000 Method

	C	q	r	TQ	EKS	SS	PW	Queue Length
Leg 1								
Leg 2								
Leg 3								
Leg 4								

Delay Analysis According to Modified Australia (Akçelik) Method

	C	g	q	Q	T	S	EKS	SS	PW	Delay
Leg 1										
Leg 2										
Leg 3										
Leg 4										

Queue Length Analysis According to Modified Australia (Akçelik) Method

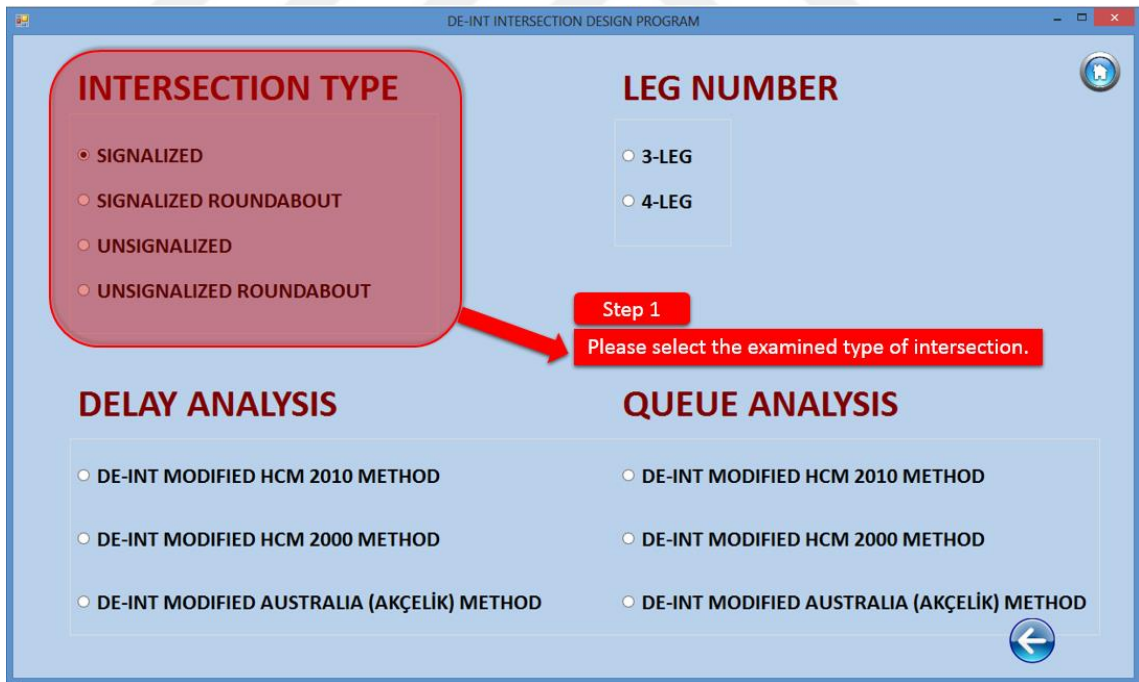
	g	C	Q	T	S	X	EKS	SS	PW	Queue Length
Leg 1										
Leg 2										
Leg 3										
Leg 4										

EK 2.10. Seçilecek farklı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerine göre görüntülenecek hücrelere ait görsellerin aynı ekran üzerinde gösterimi.

EK 3



EK 3.1. DE-INT programı ana sayfa



EK 3.2. Ana sayfada dil seçimi sonrasında gelen kavşak türü, kol sayısı ile yöntem seçim ekranı ve kavşak türünün seçilmesi işlemi

DE-INT INTERSECTION DESIGN PROGRAM

INTERSECTION TYPE

- ☒ SIGNALIZED
- ☐ SIGNALIZED ROUNDABOUT
- ☐ UNSIGNALIZED
- ☐ UNSIGNALIZED ROUNDABOUT

LEG NUMBER

- ☐ 3-LEG
- ☒ 4-LEG

Step 2

Please select the leg number of examined intersection.

DELAY ANALYSIS

- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

QUEUE ANALYSIS

- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

EK 3.3. DE-INT programında kavşak kol sayısının seçilmesi.

DE-INT INTERSECTION DESIGN PROGRAM

INTERSECTION TYPE

- ☒ SIGNALIZED
- ☐ SIGNALIZED ROUNDABOUT
- ☐ UNSIGNALIZED
- ☐ UNSIGNALIZED ROUNDABOUT

LEG NUMBER

- ☐ 3-LEG
- ☒ 4-LEG

Step 3

Please select a Delay or Queue Length analysis method.

DELAY ANALYSIS

- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

QUEUE ANALYSIS

- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

EK 3.4. DE-INT programında hesaplamalarda kullanılacak yöntemin seçilmesi.

DE-INT INTERSECTION DESIGN PROGRAM

INTERSECTION TYPE

- ☒ SIGNALIZED
- ☐ SIGNALIZED ROUNDABOUT
- ☐ UNSIGNALIZED
- ☐ UNSIGNALIZED ROUNDABOUT

LEG NUMBER

- ☐ 3-LEG
- ☒ 4-LEG

DELAY ANALYSIS

- ☒ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

QUEUE ANALYSIS

- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

Please click this button to return main page.

Please click this button to return to previous page.

EK 3.5. Ana sayfaya dönmek ya da bir önceki sayfaya gitmek için yapılması gereken işlemler.

DE-INT INTERSECTION DESIGN PROGRAM

INTERSECTION TYPE

- ☒ SIGNALIZED
- ☐ SIGNALIZED ROUNDABOUT
- ☐ UNSIGNALIZED
- ☐ UNSIGNALIZED ROUNDABOUT

LEG NUMBER

- ☐ 3-LEG
- ☒ 4-LEG

DELAY ANALYSIS

- ☒ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

QUEUE ANALYSIS

- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2010 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED HCM 2000 METHOD
- ☐ DE-INT MODIFIED AUSTRALIA (AKÇELİK) METHOD

Step 4

After selection of intersection type, leg number and analysis method please click this button to go to next page.

EK 3.6. Kavşak türü, kol sayısı ve yöntemin seçilmesi sonrasında hesaplama sayfasına gidilmesi.

DE-INT INTERSECTION DESIGN PROGRAM

Delay Analysis According to DE-INT Modified HCM 2010 Method

	C	g	X	PW	Platform Width (m)	SC	AS	CS	Delay
Leg 1									
Leg 2									
Leg 3									
Leg 4									

CALCULATE START A NEW CALCULATION

Step 5

After selection of intersection type, leg number and analysis method, this table will be displayed to fill in. Please fill in all necessary areas to start analysis.

EK 3.7. Seçilen yöntemle hesaplama yapabilmek için doldurulması gereken alanlar.

DE-INT INTERSECTION DESIGN PROGRAM

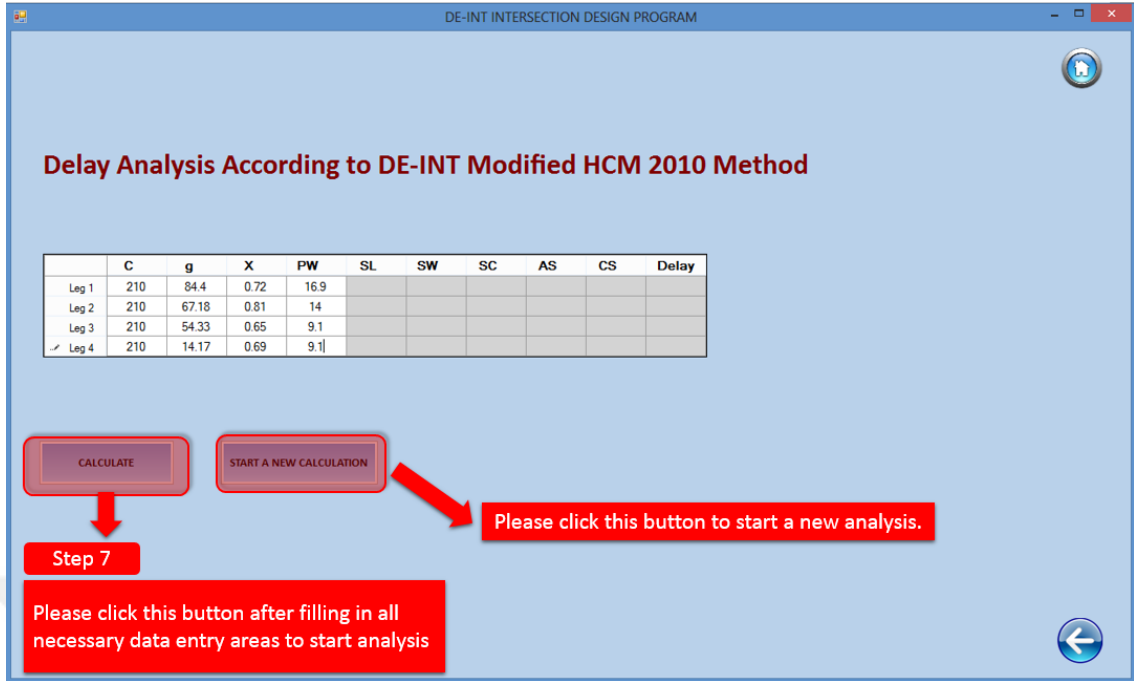
Delay Analysis According to DE-INT Modified HCM 2010 Method

	C	g	X	PW	Platform Width (m)	SC	AS	CS	Delay
Leg 1									
Leg 2									
Leg 3									
Leg 4									

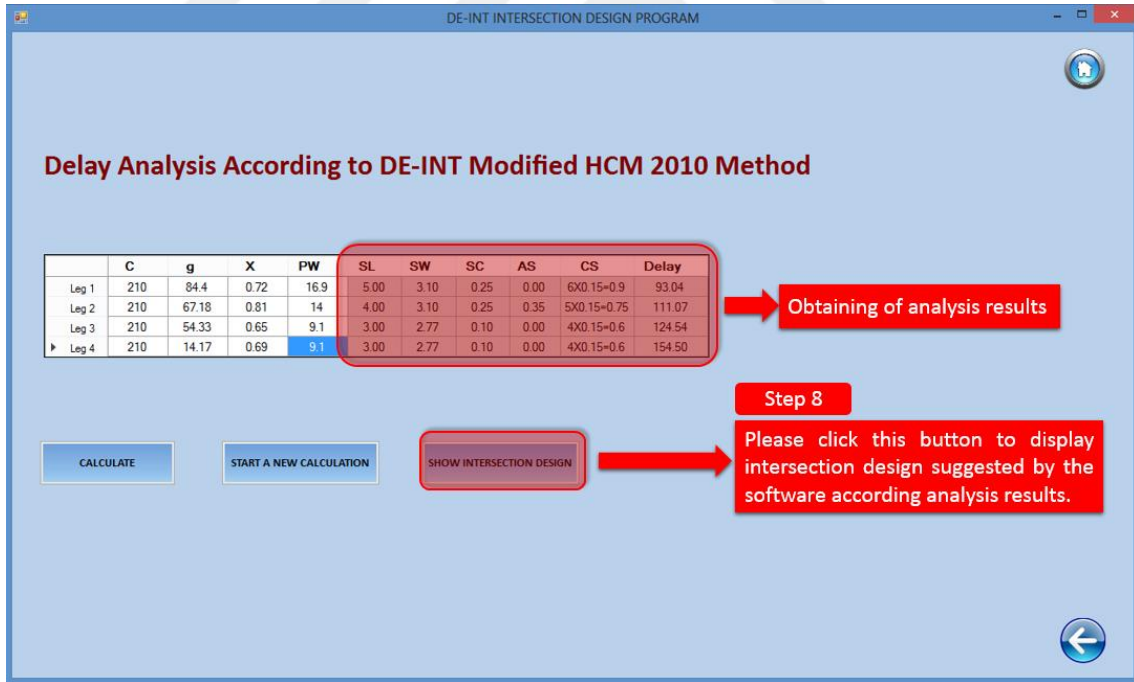
CALCULATE START A NEW CALCULATION

Users can see all informations about the analysis paramaters with units by clicking the notations.

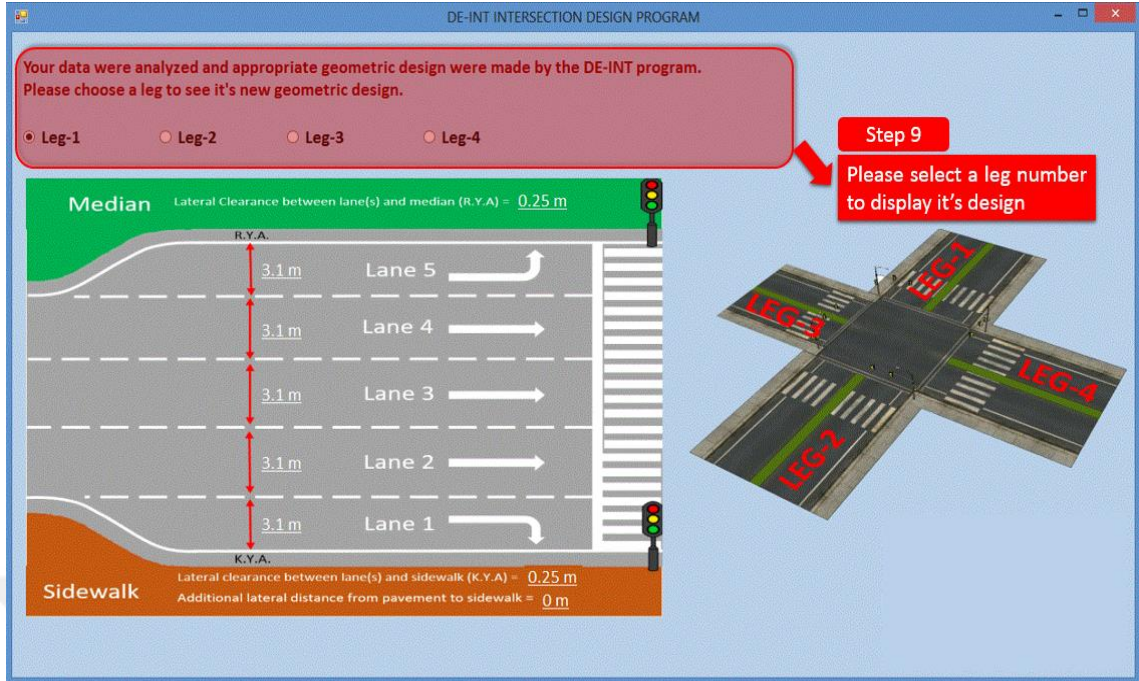
EK 3.8. Kullanıcıların ilgili hücreleri doldurmadan önce girmesi gereken veriler ve bu verilerin birimleri hakkında bilgi alması.



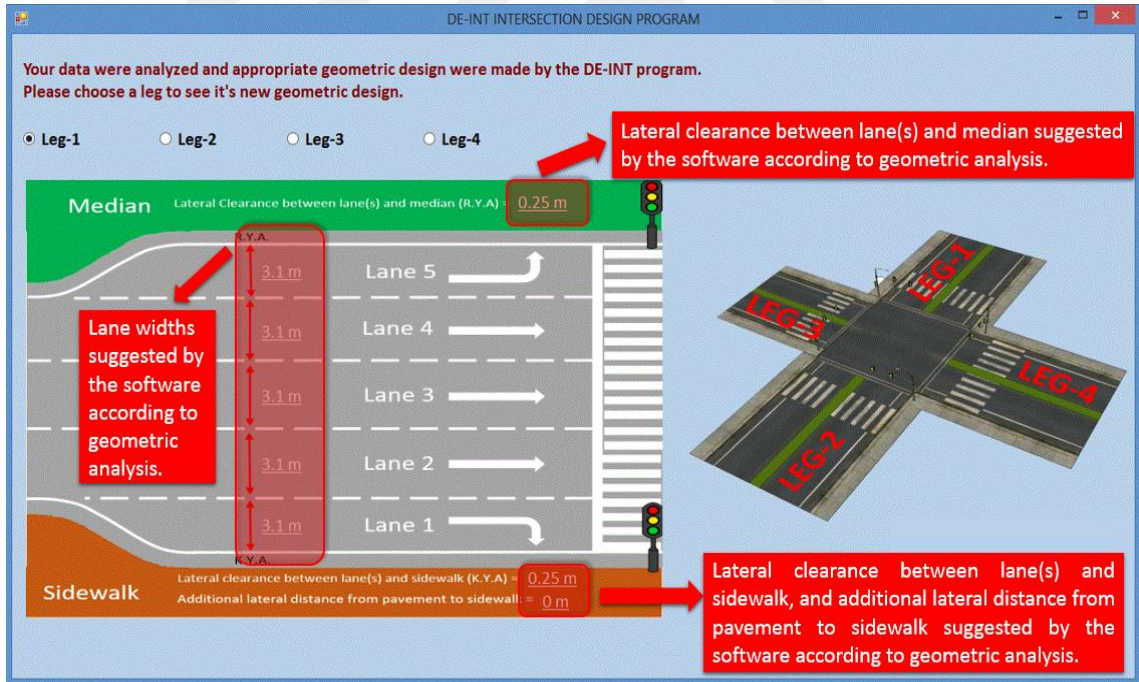
EK 3.9. Analiz için gerekli tüm hücrelerin doldurulması ve hesaplama işlemine geçilmesi.



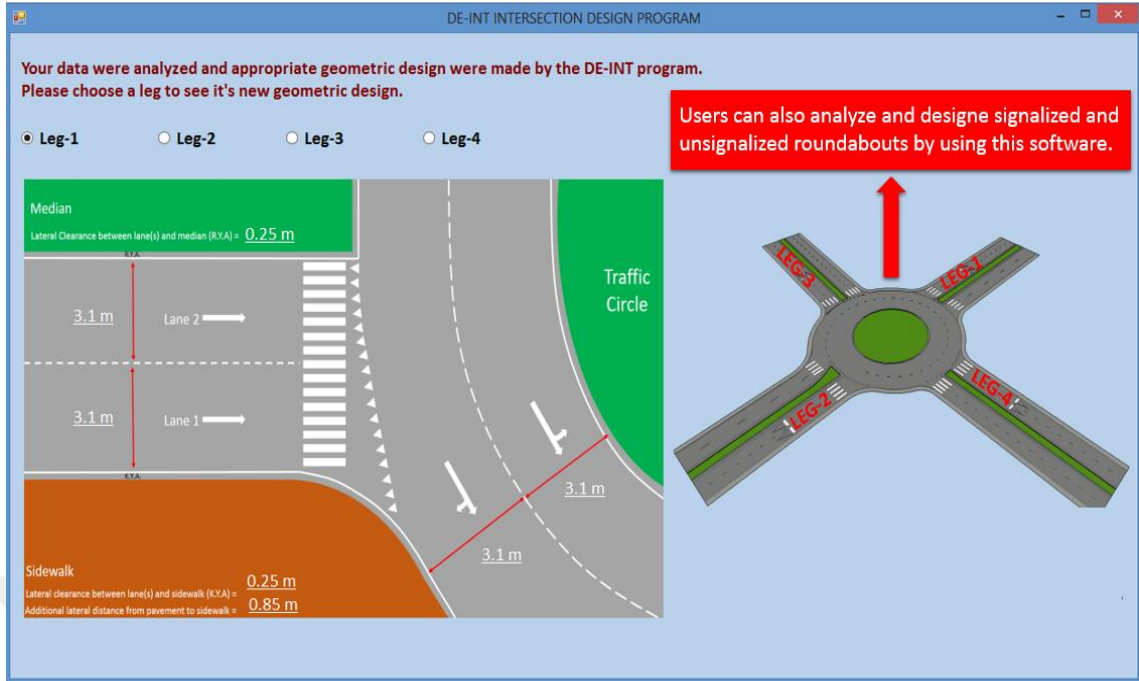
EK 3.10. Hesap sonuçlarının elde edilmesi ve program tarafından önerilen tasarımın görüntülenmesi.



EK 3.11. Program tarafından önerilen tasarımın her bir kola özgü olarak geometrik ölçüleriyle birlikte görüntülenmesi.



EK 3.12. Görüntülenen kavşak tasarımına ait geometrik ölçülerin neler olduğunun tespiti.



EK 3.13. DE-INT programı ile yapılan dönel kavşak tasarımına ait örnek bir görsel.

Users will meet with different analysis screens after the selection of different delay or queue length methods as shown in below.

Delay Analysis According to DE-INT Modified HCM 2010 Method

	C	g	X	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Delay
Leg 1										
Leg 2										
Leg 3										
Leg 4										

Delay Analysis According to DE-INT Modified HCM 2000 Method

	C	g	X	Q	Qb	PW	T	P	SL	SW	SC	AS	CS	Delay
Leg 1														
Leg 2														
Leg 3														
Leg 4														

Geometric Design of Unsignalized Intersection According to DE-INT

	PW	SL	SW	SC	AS	CS
Leg 1						
Leg 2						
Leg 3						
Leg 4						

Queue Length Analysis According to DE-INT Modified HCM 2010 Method

	C	g	q	S	P	r	Spl	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Queue Length
Leg 1														
Leg 2														
Leg 3														
Leg 4														

Queue Length Analysis According to DE-INT Modified HCM 2000 Method

	C	q	r	TQ	PW	SL	SW	SC	AS	CS	Queue Length
Leg 1											
Leg 2											
Leg 3											
Leg 4											

Geometric Design of Unsignalized Roundabout According to DE-INT

	PW	SL	SW	SC	AS	CS
Leg 1						
Leg 2						
Leg 3						
Leg 4						

EK 3.14. Seçilecek farklı gecikme ve kuyruk uzunluğu yöntemlerine göre görüntülenecek hücrelere ait görsellerin tek bir ekran üzerinde gösterimi.

ÖZGEÇMİŞ

METİN MUTLU AYDIN
metinmutluaydin@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi
2011-2013	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi
2006-2010	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2014- Devam Ediyor	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Araştırma Görevlisi	Gümüşhane Üniversitesi
2013-2014	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane
Araştırma Görevlisi	Dokuz Eylül Üniversitesi
2011-2013	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

ESERLER:

SCI, SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde yayımlanan makaleler

1- Gökkuş Ü., Yıldırım M.S. and Aydın M.M. 2017. Estimation of container traffics at seaports by using several soft computing methods: a case of turkish seaports. *Discrete Dynamics In Nature And Society*, 2017:1-15.

- 2- Karpuz O., Akpınar M.V. and Aydın M.M. 2017. Effects of fine aggregate abrasion resistance and its fineness module on wear resistance of portland cement concrete pavements. *Revista De La Construcción*, 16 (1): 126-132.
- 3- Aydın M.M. and Topal A. 2017. Effects of pavement surface deformations on traffic flow. *Transport*, In Press: 1-10.
- 4- Aydın M.M. and Topal A. (2017). Effects of pavement deformations on lane changing behaviors. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 170: 1-10.
- 5- Aydın M.M. and Topal A. 2016. Effect of road surface deformations on lateral lane utilization and longitudinal driving behaviours. *Transport*, 31 (2): 192-201.
- 6- Caliskanelli S.P., Tanyel S., Aydın M.M. ve Utku S.B. 2013. Yuvarlakada kavşaklardaki ağır araç etkisinin incelenmesi, *Teknik Dergi*, 24 (4): 6479-6504.

Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- 1- Aydın M.M., Köfteci S., Akgöl K. and Yıldırım M.S. 2017. Utilization of a new methodology on performance measurements of red light violations detection systems. *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*, 9 (1): 32-41.
- 2- Aydın M.M. 2017. Yol yüzey işaretlerinde kullanılan malzemeler ve geri yansıma özellikleri üzerine bir literatür taraması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (5): 792-805.
- 3- Ghasemlou K., Aydın M.M. and Yıldırım M.S. 2016. An Investigation on lane blockage effects at signalized intersections. *International Journal For Traffic And Transport Engineering (IJTTE)*, 6 (3): 289-302.
- 4- Aydın M.M., Yıldırım M.S., Aydın R. and Arslan Y. 2016. Effect of different passenger characteristics and bus types on boarding times at bus-stops. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 5(2): 499-599.
- 5- Aydın M.M. and Günay B. 2016. An overview of horizontal traffic calming systems that are not currently in use in Turkey. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 7(2): 137-151.
- 6- Ghasemlou K., Aydın M.M. and Yıldırım M.S. 2015. Prediction of pedal cyclists and pedestrian fatalities from total monthly accidents and registered private car numbers, *Archives of Transport*, 34(2): 29-35.
- 7- Ghasemlou K., Aydın M.M. and Yıldırım M.S. 2015. Comparison of delay time models for over-saturated traffic flow conditions at signalized intersections. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 84(2015): 9-18.
- 8- Akgöl K., Aydın M.M., Asilkan Ö. and Günay B. 2014. Prediction of modal shift using artificial neural networks, *Journal of Technology, Education, Management, Informatics*, 3(3): 223-229.

- 9- Aydın M.M., Yıldırım M.S., Karpuz O. and Ghasemlou K. 2014. Modeling of driver lane choice behavior with artificial neural networks (ANN) and linear regression (LR) analysis on deformed Roads, *Computer Science & Engineering: An International Journal (CSEIJ)*, 4(1): 47-57.
- 10- Tanyel S., Caliskanelli S.P., Aydın M.M. and Utku S.B. 2014. An investigation of heavy vehicle effect on traffic circles. *Teknik Dergi Digest*, 2013: 1675-1700.
- 11- Caliskanelli S.P., Aydın M.M., Sabuncuoğlu M.A., Özkul S. ve Tanyel S. 2012. sinyalizasyon arterlerindeki araç takip aralıklarının incelenmesi. *Süleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Sciences*, 16(2): 227-237.

Hakemli Kongre / Sempozyumların Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

- 1- Aydın M.M., Yıldırım M.S., Saplıoğlu M.ve Ünal A. 2017. Şehiriçi yollardaki geometri problemlerinin sınıflandırılması ve çözüm önerileri geliştirilmesi, II. International Academic Research Congress, 18-21 Ekim, pp.1-10, Antalya, Türkiye.
- 2- Yıldırım M.S., Gökkuş Ü. and Aydın M.M. 2017. Comparison of the prediction performances of the soft computing regression models for a sea port cargo throughput, 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), 21-23 Eylül, pp.1-5, Bayburt, Türkiye.
- 3- Aydın M.M., Yıldırım M.S. and Forslof L. 2017. The use of smart phones to estimate road roughness: a case study in Turkey, 2nd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), 21-23 Eylül, pp.1-10, Bayburt, Türkiye.
- 4- Tekin S., Köfteci S. and Aydın M.M. 2017. Schedule optimization of public transportation system by using linear goal programming method, *International Journal of Arts and Sciences' (IJAS)*, 10-13 Nisan, pp.1-1 Paris, Fransa.
- 5- Köfteci S., Aydın M.M. and Akgöl K. 2017. Performance measurements of average speed violation detection systems in urban and rural road corridors, *International Journal of Arts and Sciences' (IJAS)*, 10-13 Nisan, pp.1-1, Paris, Fransa.
- 6- Ghasemlou K., Aydın M.M. and Yıldırım M.S. 2017. Effective parameters on trip length of bike sharing systems, ITS World Congress 2017, 29 Ekim - 2 Kasım, pp.1-10 Montreal, Kanada.
- 7- Aydın M.M., Saplıoğlu M. ve Ünal A. 2017. Akıllı otopark yönetim sistemlerine geçiş için çözüm önerileri geliştirilmesi: Alanya örneği, II. International Academic Research Congress, 18-21 Ekim, pp.1-10 Antalya, Türkiye.
- 8- Aydın R. ve Aydın M.M. 2016. Otobüslere binişlerde yaşanan sorunlar ve durakta bekleme süresi ilişkisinin incelenmesi, I. Uluslararası Şehir Çevre ve Sağlık Kongresi, 11-15 Mayıs, pp.162-170 Bafra, Kuzey Kıbrıs Türk Cum.
- 9- Yıldırım M.S., Aydın M.M. and Gökkuş Ü. 2016. Investigation of the seat belt usage rates for the rural and urban roads within city limits: a case of Gümüşhane, IV.

International Contemporary Urban Issues Conference On Informality, 24-26 Kasım, pp.1-10 İstanbul, Türkiye.

10- Karpuz O., Aydın M.M. ve Tanrıverdi T. 2015. The investigation of effects of silica fume and fine sand on porous concrete, 9. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Nisan, ss.1-10 Antalya, Türkiye.

11- Ghasemlou K., Aydın M.M., Yıldırım M.S., Karpuz O. and İmamoğlu C.T. 2014. Investigation the effect of road surface deformations on capacity of signalized intersections by using cell transmission model, 11th International Congress on Advances in Civil Engineering, 21-25 Ekim, pp.1-10, İstanbul, Türkiye.

12- Günay B., Akgöl K., Aydın M.M. ve Terzi S. 2014. Akıllı servis araçları konseptinin bilgisayar modellemesi; Antalya örneği, 1. Karayolu Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongre ve Sergisi, 26-28 Mayıs 2014, İstanbul, Türkiye.

13- Günay B., Aydın M.M. ve Akgöl K. 2014. Modern dönel kavşaklara sorunsuz bir dönüşümün bilimsel metodolojisi, Karayolu 3. Ulusal Kongresi, 25-27 Kasım, ss.1-12 Ankara, Türkiye.

14- Aydın M.M., Ghasemlou K., Kazami A.A. and Yıldırım M.S. 2014. Investigation of the impact of bus blockage on performance of signalized intersections by using the cell transmission model, 21st World Congress on Intelligent Transport Systems (ITSWC14), 7-11 Eylül, pp.1-10, Detroit, ABD.

15- Aydın M.M., Topal A. ve Tanyel S. 2013. Çok şeritli yollarda yol bozukluklarının sürücü davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi, 10. Ulaştırma Kongresi, 25-27 Eylül ss.1-10 İzmir, Türkiye.

16- Günay B., Akgöl K., Aydın M.M. ve Terzi S. 2013. Akıllı servis araçları konseptindeki türel değişim potansiyelinin belirlenmesi, 6. Uluslararası Ulaşım Sempozyumu ve Fuarı, Transist 2013, 25-26 Aralık, pp.1-8, İstanbul, Türkiye.

17- Ghasemlou K., Topal A., Tanyel S., Aydın M.M. and Caliskanelli S.P. 2012. Effect of dwell time on performance of signalized intersections, 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Middle East Technical University, 17-19 Ekim, pp.1-10 Ankara, Türkiye.