

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İŞIKLI KAVŞAKLARDA DEĞİŞİK HESAPLAMA
YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Gülcan ÇETİNKAYA**

Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

**İŞIKLI KAVŞAKLARDA DEĞİŞİK HESAPLAMA
YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Gülcan ÇETİNKAYA
(501061408)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih: 15 Ekim 2008

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Nadir YAYLA (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Yetiş Şazi MURAT (PA.Ü.)

EKİM 2008

TEŐEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında engin bilgi birikimi ve deneyimlerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU'na, yardımları için Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat AKAD'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen sayın meslektaşım, sevgili kardeşim Nurcan ÇETİNKAYA'ya ve öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi bana her konuda destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2008

Gülcan ÇETİNKAYA

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAVŞAK ÖZELLİKLER	3
2.1 Eşdüzey (Hemzemin) Kavşaklar	3
2.2 Eşdüzey Kavşak Türleri	3
2.2.1 Denetimsiz eşdüzey kavşaklar	3
2.2.2 Denetimli eşdüzey kavşaklar	4
2.2.2.1 Yuvarlak ada (dönel) kavşaklar	4
2.2.2.2 Işıklı (sinyalize) kavşaklar	4
2.3 Sinyalizasyon Kavramları	5
3. KAPASİTE	8
4. IŞIKLI KAVŞAKLARDA KAPASİTE	9
4.1 Webster (İngiliz) Yöntemi	11
4.1.1 Doygun akım tahmini	13
4.1.2 Gecikme hesabı	16
4.2 Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi (HCM: Highway Capacity Manual, 1985)	17
4.2.1 Girdi bölümü	19
4.2.2 Hacim düzeltme bölümü	20
4.2.2.1 Saatlik trafik hacimlerinin zirve saat trafiğine dönüştürülmesi	20
4.2.2.2 Şerit gruplarının belirlenmesi	20
4.2.2.3 Trafik hacimlerinin şerit kullanımına göre düzeltmesi	22
4.2.3 Doygun akım değeri bölümü	23
4.2.4 Kapasite çözümlenme bölümü	27
4.2.5 Hizmet düzeyi bölümü	27
4.3 Avustralya Yöntemi	31
4.3.1 Devre süresi	32
4.3.1.1 Optimum devre süresi	32
4.3.1.2 Pratik devre süresi	33
4.3.1.3 Devre süresi seçimi	33
4.3.2 Yeşil süreler	33
4.3.2.1 Kritik akım yeşil süreleri	35

4.3.2.2 Kritik olmayan akım yeşil süreleri	35
4.3.2.3 Faz yeşil süreleri	36
4.3.3 Doygun akım hesaplaması	36
4.3.4 Çatışan akımlı dönüşler	40
4.3.4.1 Paylaşılan şerit	41
4.3.4.2 Özel şerit	42
4.3.5 Performans ölçütleri	42
4.3.6 Kuyruk uzunluğu	42
4.3.7 Maksimum kuyruk uzunluğu	43
4.3.8 Gecikme hesabı	44
4.3.9 Duruş sayısı	44
5. SAYIM VE GÖZLEMLER	46
5.1 Giriş	46
5.2 Yapılan Gözlem ve Etüdüler	47
6. ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI	52
6.1 Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları	52
6.1.1 Webster (İngiliz) yöntemi	52
6.1.2 Yolların kapasitesi el kitabı yöntemi (HCM 1985)	53
6.1.3 Avustralya yöntemi	54
6.1.4 Sidra Intersection 3.2 programı	55
6.2 Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları	55
6.2.1 Webster (İngiliz) yöntemi	56
6.2.2 Yolların kapasitesi el kitabı yöntemi (HCM 1985)	56
6.2.3 Avustralya yöntemi	57
6.2.4 Sidra Intersection 3.2 programı	58
7. SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	62
EKLER	64
ÖZGEÇMİŞ	70

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Kavşak Kolu Genişliğine Göre Temel Doygun Akım Değerleri.....	14
Tablo 4.2: Farklı Türdeki Taşıtların Birim Oto Eşdeğeri.....	14
Tablo 4.3: Şerit Kullanım Faktörleri	23
Tablo 4.4: Şerit Genişliği Faktörü	23
Tablo 4.5: Ağır Taşıt Faktörü.....	23
Tablo 4.6: Eğim Faktörü.....	24
Tablo 4.7: Park Etme Faktörü	24
Tablo 4.8: Kavşakta Duran Otobüs Duruş Sayısı Faktörü.....	24
Tablo 4.9: Bölge Türü Faktörü.....	24
Tablo 4.10: Sağ Dönüş Düzeltme Faktörü.....	25
Tablo 4.11: Sol Dönüş Düzeltme Faktörü.....	26
Tablo 4.12: İlerleme Faktörü.....	29
Tablo 4.13: Hizmet Düzeyi Ölçütü.....	30
Tablo 4.14: Çevre Sınıfı ve Şerit Türüne Bağlı Olarak Ortalama Temel Doygun Akım Değerleri.....	36
Tablo 4.15: Farklı Taşıtların Türleri ve Dönüşler İçin Doğru Giden Oto Eşdeğeri.....	39
Tablo 5.1: Adnan Kahveci Kavşağı Saatlik Hacim Değerleri.....	50
Tablo 5.2: Adnan Kahveci Kavşağı Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri.....	50
Tablo 6.1: Webster Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	53
Tablo 6.2: HCM 1985 Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	53
Tablo 6.3: Avustralya Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	54
Tablo 6.4: Avustralya Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresi İçin Bulunan Duruş Sayısı ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri.....	54
Tablo 6.5: Sidra Intersection 3.2 Programı İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	55
Tablo 6.6: Webster Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	56
Tablo 6.7: HCM 1985 Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	57
Tablo 6.8: Avustralya Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	57
Tablo 6.9: Avustralya Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresi İçin Bulunan Duruş Sayısı ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri.....	58
Tablo 6.10: Sidra Intersection 3.2 Programı İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Farklı Yeşiller Arası Süre Düzenlemeleri.....	6
Şekil 2.2: Akım Düzeni Örneği.....	7
Şekil 2.3: Devre Düzeni Örneği.....	7
Şekil 4.1: Yeşil Süre Boyunca Akımın Kavşağa Girişi.....	10
Şekil 4.2: Çözümleme İçin Tipik Şerit Grupları.....	21
Şekil 4.3: Basit Bir Tekrarlı Akım Durumunda Akım Düzeni.....	34
Şekil 4.4: Çatışan Akım Yeşil Süresinin Doygun Olmayan Bölümü Boyunca Çatışan Akımlı Dönenlerin Doygun Akımı.....	41
Şekil 5.1: Adnan Kahveci Kavşağı.....	49
Şekil 5.2: Adnan Kahveci Kavşağı Planı.....	49
Şekil 5.3: Adnan Kahveci Kavşağı Akım Düzeni.....	51
Şekil 5.4: Adnan Kahveci Kavşağı Devre Düzeni.....	51
Şekil 7.1: Uygulanan Devre Süresine Göre Tüm Yaklaşım Kollarına Ait Kapasite Değerleri.....	59
Şekil 7.2: Hesaplanan Devre Süresine Göre Tüm Yaklaşım Kollarına Ait Kapasite Değerleri.....	59
Şekil 7.3: Uygulanan Devre Süresine Göre Tüm Yaklaşım Kollarına Ait Gecikme Değerleri.....	60
Şekil 7.4: Hesaplanan Devre Süresine Göre Tüm Yaklaşım Kollarına Ait Gecikme Değerleri.....	60

SEMBOL LİSTESİ

a	: Sarı süre
c	: Kapasite
D	: Devre süresi
D_p	: Pratik devre süresi
D_o	: Optimum devre süresi
e_i	: Doğru giden oto eşdeğeri
g	: Etkin yeşil süre
G	: Görünen yeşil süre
G_P	: Yayalar için minimum yeşil süre
h	: Duruş sayısı
I	: Yeşiller arası süre
K	: Park cezası parametresi
l	: Bir fazdaki kayıp süre
L	: Bir devredeki kayıp süre (kavşak kayıp süresi)
N	: Kavşak kolundaki şerit sayısı
N₀	: Taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu
N_m	: Maksimum kuyruk uzunluğu
q	: Saatlik akım değeri
q_o	: Toplam çatışan akım değeri
r	: Etkin kırmızı süre
s	: Doygun akım
T_f	: Akım periyodu
u,λ	: Kavşak kolundaki yeşil süre oranı
U	: Kavşak yeşil süre oranı
U_f	: Şerit kullanım faktörü
w_a	: Kavşak kolu genişliği
w	: Zaman biriminden taşıt başına ortalama gecikme
W	: Taşıt biriminden toplam gecikme
Y	: Kavşak akım oranı
x	: Doygunluk derecesi
x_c	: Kavşak için kritik akım / kapasite oranı

İŞIKLI KAVŞAKLARDA DEĞİŞİK HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Sürekli artan trafik hacimleri gerek kentlerde, gerekse kentler arasında, yol ağlarının artmasına ve yayılmasına yol açmaktadır. Yol ağlarının yayılması, farklı trafik akımlarının çatışmalarını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu çatışmaları düzenlemek amacıyla kavşaklar yapılmaktadır. Kavşaklar, farklı doğrultulardan gelip, yine farklı doğrultulara giden akımların, önceden belirlenen düzene göre zamanda sırayla ya da mekânda sırayla ortak kullandıkları alanlardır. Bu ortak yol alanlarının farklı akımlarca zaman içinde sıra ile kullanılmalrı durumunda kavşak, eşdüzey kavşak olarak adlandırılır. Eşdüzey kavşaklarda sinyalizasyon ile yapılan denetim en gelişmiş denetim biçimidir. Sinyalizasyon denetimi, kent içi trafiğinde kapasitenin iyileştirilmesi olarak sıklıkla kullanılır. Işıklı kavşaklarda kırmızı ışıkta taşıtlar biriktirilip yeşil ışıkta düzenli olarak hareket etmeleri sağlandığı için kapasite kaybı kontrol edilebilir. Bir ışıklı kavşağın kapasitesi şerit sayısı ve tipine bağlı olmakla birlikte kavşakta uygulanmakta olan akım ve devre düzenine bağlıdır.

Bu çalışmada, Ankara ilinde şehiriçi ışıklı (sinyalize) bir kavşak olan Adnan Kahveci Işıklı Kavşağı incelenmiştir. Bu kavşakta kamera ile trafik gözlem ve sayımı yapılmıştır. Gözlem ve sayımlardan elde edilen veriler kullanılarak, ışıklı kavşak için kapasite ve gecikme çözümlemesi yapılmıştır. Çözümleme öncelikle kavşakta mevcut uygulanan devre süresine göre yapılmıştır. Daha sonra yeni devre süresi hesaplanarak kapasite ve gecikme çözümlemesi yeniden yapılmıştır. Kapasite ve sinyalizasyon hesapları, ışıklı kavşaklarda kapasite çözümleme yöntemlerinden, Webster (İngiliz) Yöntemi, Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi (HCM: Highway Capacity Manual, 1985), Avustralya Yöntemi ve Sidra Intersection 3.2 Programı ile yapılmıştır. Sonuçlar kısmında, çözümlemeler neticesinde elde edilen değerler irdelenmiştir. Sidra Intersection 3.2 Programı ile elde edilen çözümleme sonuçlarının gözlemlere oldukça yaklaştığı belirlenmiştir.

COMPARISON OF VARIOUS CALCULATION METHODS FOR SIGNALIZED INTERSECTIONS

SUMMARY

Increasing traffic volumes in city and intercity cause road networks growing and spreading. Road networks' spreading necessitates different traffic flows to conflict. Intersections are done to order these conflicts. Intersections are the areas which traffic flows coming from different directions and going to different directions use commonly according to specified time order. When these common road spaces are used by different traffic flows in the length of time, intersection is called grade intersection. Signal control at grade intersections is the most developed control type. Signalization control is often used to correct capacity in city traffic. Vehicles are stopped at red phase and provided to move regularly at green phase. Therefore, capacity loss can be controlled. Capacity of a signalized intersection depends to traffic lane and type besides applied phase and cycle arrangement in the intersection.

In this study, a signalized intersection, which is Adnan Kahveci Intersection in Ankara, is studied. At this intersection, traffic observation and traffic counting are done. By using the data from the observations and accounts, capacity and delay analysis are made for the signalized intersection. Analysis is firstly performed according to the applied cycle time. And then, capacity and delay analysis are made for the calculated new cycle time. Capacity and signalization calculations are done with the methods of capacity analysis for signalized intersections such as: Webster (British), Highway Capacity Manual (HCM 1985), Australia Method and Sidra intersection 3.2 programme. At the results section, the values obtained from the analysis are examined. It is determined that the values obtained from Sidra intersection 3.2 programme considerably approached to the observations.

1.GİRİŞ

Ulaştırma, canlı ve cansız varlıkların belli bir amacı yerine getirmek için bir noktadan diğer bir noktaya hareketidir. Ulaştırmada kaynak noktasından hedefe en güvenilir, kısa sürede, ekonomik ve rahat bir şekilde hareket amaçlanmaktadır ve ulaşım yolları vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Günümüzde hızlı nüfus artışı ve ekonomik refah seviyesinin yükselmesine paralel olarak artan ulaşım talebi ulaşım ihtiyaçlarının sürekli artmasına neden olmuştur [1,2].

Ulaşım ihtiyaçlarına cevap verebilmek, yoğun bir taşıt trafiği sonucunu doğurmaktadır. Sürekli artan trafik hacimleri gerek kentlerde, gerekse kentler arasında, yol ağlarının artmasına ve yayılmasına yol açmaktadır. Yol ağlarının yayılması, farklı trafik akımlarının çatışmalarını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu çatışmaları düzenlemek amacıyla kavşaklar yapılmaktadır.

Doğal olarak kavşaklarda akımların çatışmaları neticesinde ortaya çıkan kaza olma olasılığı, trafiğin düzenli akışını sağlamak amacıyla çeşitli önlemler alınmasını gerektirir. Kavşak denetimi olarak adlandırabileceğimiz bu önlemler, akımların birbirine yol vermesi esasına dayanır. Yani kavşaklarda çatışan farklı doğrultulardaki akımlar zamanı paylaşmak zorunda kalırlar. Doğal olarak bu paylaşım, düzgün bir akım sağlanması amacıyla, belli kurallara bağlanmalıdır. Bu kurallar çeşitli denetim yöntemleri aracılığıyla, sürücülere bildirilir, gösterilir, öğretilir; dolayısıyla kavşak alanı içerisinde doğabilecek karışıklıklar en aza indirgenmiş olur.

Kavşağı kullanan trafik hacimlerindeki artış, güvenlik ve kapasite sorunu yaratacaktır. Kavşak kollarından kavşağa giren akımların, kavşağı en az gecikmeye maruz kalarak boşaltabilmeleri için belirli bir akım düzeninin sağlanması gerekir. Kavşakta uygulanacak denetim yöntemi, akım düzeninin sağlanması ile kavşağın yüksek verimle çalışması için önemlidir [3].

Bu alışmada, Ankara ilinde Şehir ii ışıklı (sinyalize) bir kavşak olan Adnan Kahveci Işıklı Kavşağı incelenmiştir ve kavşak kollarının kapasitesi ve gecikme özömlenmesi yapılmıştır. özömlenme öncelikle kavşakta mevcut uygulanan devre süresine göre yapılmıştır. Daha sonra yeni devre süresi hesaplanarak kapasite ve gecikme özömlenmesi yeniden yapılmıştır. Kapasite ve sinyalizasyon hesapları, ışıklı kavşaklarda kapasite özömlenme yöntemlerinden, Webster (İngiliz) Yöntemi, Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi (HCM: Highway Capacity Manual, 1985), Avustralya Yöntemi ve Sidra Intersection 3.2 Programı ile yapılmıştır.

Tez alışmasında, 2. bölümde kavşak özellikleri, 3. bölümde kavşak kapasitesi, 4. bölümde ışıklı kavşaklarda kapasite açıklanmıştır. Aynı zamanda bu bölümde ışıklı kavşaklarda kapasite özömlenme yöntemleri incelenmiştir. 5. bölümde sayım ve gözlemler, 6. bölümde gözlem ve özömlenme yöntemleri ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar bölümünde, uygulama neticesinde elde edilen bulgular tartışılmıştır.

2. KAVŞAK ÖZELLİKLERİ

Kavşaklar, farklı doğrultulardan gelip, yine farklı doğrultulara giden akımların, önceden belirlenen düzene göre zamanda sırayla ya da mekânda sırayla ortak kullandıkları alanlar olarak tanımlanabilir. Bu ortak yol alanlarının farklı akımlarla zaman içinde sıra ile kullanılmaları durumunda kavşak, eşdüzey kavşak olarak adlandırılır. Bu kavşaklarda akımlar aynı kotta yolu farklı zamanlarda kullanırlar. Bu ortak alan, farklı akımlarla farklı mekânlarda kullanılırsa, katlı kavşak olarak adlandırılır. Dolayısıyla katlı kavşaklarda aynı anda farklı akımlar geçiş olanağına sahip olurlar [4].

2.1 Eşdüzey (Hemzemin) Kavşaklar

Eşdüzey kavşaklar, trafik mühendisliği açısından birbiri ile çelişkili iki önemli konuda sorun yaratırlar. Bunlar kapasite ve trafik güvenliğidir. Bir yolun kapasitesini belirleyen kritik kesimler kavşaklardır. Kapasitenin azalması nedeniyle gecikme ve tıkanmalar ortaya çıkar. Şehir içi ulaşımda görülen trafik tıkanıklıkları ve gecikmelerin büyük bir kısmı, eşdüzey kavşaklardan kaynaklanmaktadır. Trafik güvenliği kavşaklarda oldukça düşüktür [4,5]. Taşıt kazalarının % 40-60'ı eşdüzey kavşaklarda olmakta ve ölümlerin yarısı da kavşaklarda meydana gelen kazalar sonucu olmaktadır [6].

2.2 Eşdüzey Kavşak Türleri

Eşdüzey kavşaklar, kavşaktaki trafik akımının denetim şekline bağlı olarak denetimsiz eşdüzey kavşaklar ve denetimli eş düzey kavşaklar şeklinde ikiye ayrılır.

2.2.1 Denetimsiz eşdüzey kavşaklar

Trafik akım düzeninin ışıksız trafik işaretleri ile ya da hiçbir işaret olmaksızın sağlandığı kavşaklardır. İşaretsiz kavşaklar ve öncelikli kavşaklar (ana yol-yan yol

kavşakları) olarak sınıflandırılabilir. Trafik hacminin fazla olduğu ve geometrik özellikleri yüksek olan yol (örneğin daha geniş olan yol) anayoldur. Bu yol üzerinde hareket eden taşıtların, yan yollardan gelen taşıtlara göre ilk geçiş hakkı vardır. Bu tür kavşaklarda trafik kontrolü yan yola konulan “dur” veya “yol ver” anlamı taşıyan trafik levhaları ile yapılabilmektedir [7].

2.2.2 Denetimli eşdüzey kavşaklar

Trafik akım düzeninin trafik polisi veya ışıklı trafik denetim elemanları ile sağlandığı kavşaklardır. Yuvarlak ada (dönel) kavşaklar ve ışıklı (sinyalize) kavşaklar olarak sınıflandırılabilir [1,5].

2.2.2.1 Yuvarlak ada (dönel) kavşaklar

Yuvarlak ada kavşaklar trafik akımının kavşağın ortasında bulunan yuvarlak bir ada etrafından dolaştırılarak yönlendirildiği kavşak türüdür. Yuvarlak ada kavşaklarda, kavşağa katılım ve ayrılmalar sürekli ve daima saatin tersi istikametinde hareket edilerek dönüşler yapılmaktadır. Bu tür kavşakların genellikle dört ve daha fazla kolun kesiştiği, kavşağa giren trafik akımlarının yüksek ve eşit öneme sahip olduğu, aynı zamanda yuvarlak ada yapılabilecek yeterli alanın mevcut olduğu yerlerde yapılması uygundur. Yuvarlak ada kavşaklar, taşıt hızlarının düşük ve birbirine yakın olması nedeniyle trafik güvenliğinin yüksek olduğu yerlerdir [2,8].

2.2.2.2 Işıklı (sinyalize) kavşaklar

Sinyalize kavşaklar olarak da adlandırılan ışıklı kavşaklar, akım önceliğinin renkli lambalar ile gösterildiği kavşak türüdür. Bu tip kavşaklar taşıt talebinin fazla olduğu yollarda kullanılır. Bu tip kavşaklarda düzenli akım elde edilebildiğinden kapasiteyle birlikte güvenlikte artmaktadır. Düşük hacimli yollardan gelen akımın ana yola girmesini sağlar. Taşıt aralıklarının homojen olmasını sağladığı için trafik akımının düzgün akmasını sağlar. Trafik akım düzeninin sağlanması ile birlikte kafa kafaya ve yandan çarpma gibi kaza türlerinde büyük bir azalma sağlanır. Yaya kazalarını azaltır, güvenliği artırır. Bu kavşaklarda meydana gelen kazalar genellikle arkadan

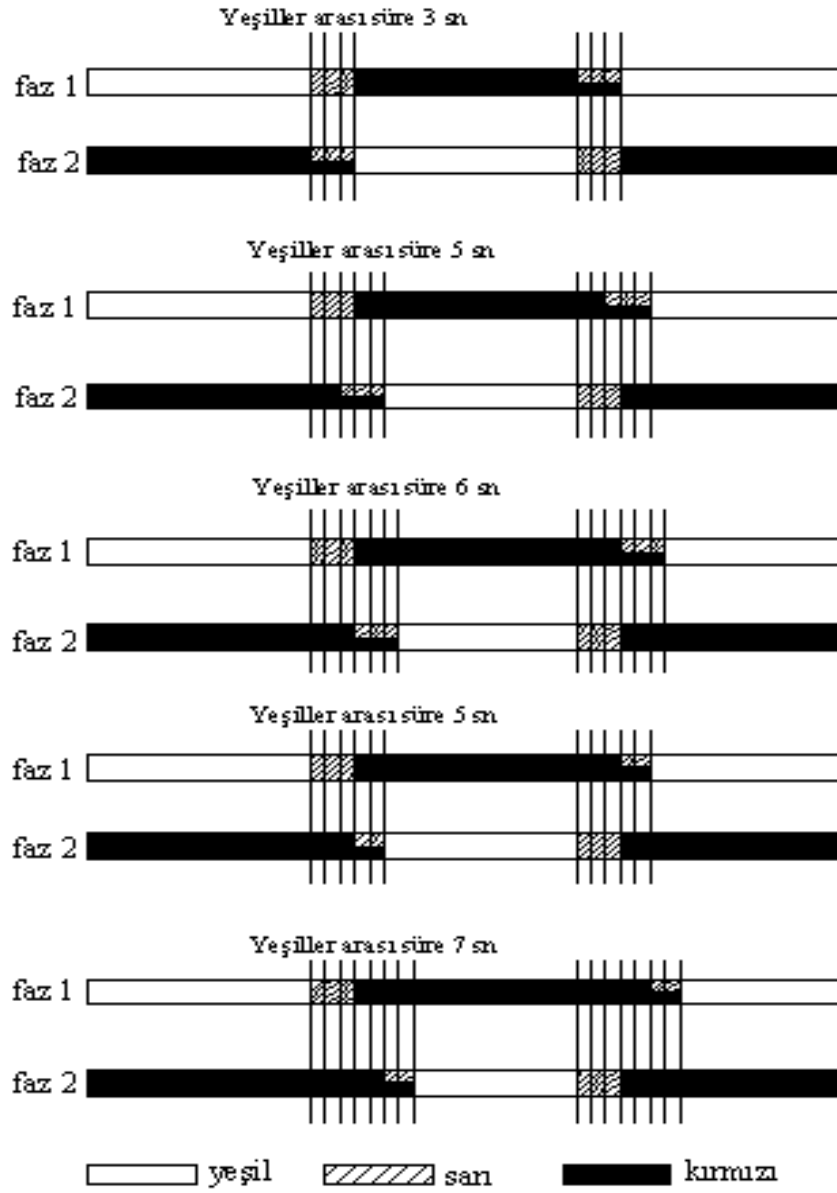
çarpma kazalarıdır fakat taşıtlar arasındaki hız farkı az olduğundan meydana gelen zarar ve ölüm riski düşüktür [4].

Sinyalizasyon sistemleri, hem yaya ve taşıt güvenliğinin sağlanması, hem de kavşak kapasitesinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte yanlış uygulanan veya yetersiz kalan sinyalizasyon tasarımları kazalara neden olmakta, kavşak kapasitesini düşürmekte ve kavşaklarda taşıt kuyruklarının artmasına yol açarak, taşıt gecikmelerini arttırmakta ve giderek itaatsizliğe neden olmaktadır. Bu tür olumsuz etkileri engellemek veya azaltmak için ışıklı kavşak tasarımının doğru bir şekilde yapılması ve kavşak işletiminin en uygun şekilde olması gerekmektedir. Işıklı kavşakların denetiminde en çok kullanılan iki yöntem sabit zamanlı ve trafik uyarmalı sinyalizasyon düzenleridir. Sabit zamanlı düzenlemede önceden devre süresi ve faz düzeni belirlenerek denetim sağlanmaktadır. Trafik uyarmalı düzende ise günün değişik saatlerinde değişken olan taşıt ve yaya trafiğine uygun olarak dinamik denetim sağlayan devre süreleri ve faz düzeni uygulanmaktadır [9].

2.3 Sinyalizasyon Kavramları

- **Faz:** Kavşakta en az bir ya da daha fazla akıma geçiş hakkı verilen, uyarıları da içeren süredir. Bir akımın ilk yeşil almaya başladığı andan sonraki akımın yeşil almasına kadar geçen süre bir fazdır.
- **Devre (D):** Kavşaktaki her akıma en az bir kez geçiş hakkının verildiği toplam süredir.
- **Yeşil süre (g):** Bir fazda yeşil ışığın verildiği süredir.
- **Sarı süre (a):** Bir fazda sarı ışığın verildiği süredir.
- **Kırmızı süre (r):** Bir fazda kırmızı ışığın verildiği süredir.
- **Yeşiller arası süre (I):** Kavşaktaki akımlardan birine verilen yeşil ışığın bittiği andan diğer faz için yeşil sinyalin verilmeye başladığı ana kadar geçen

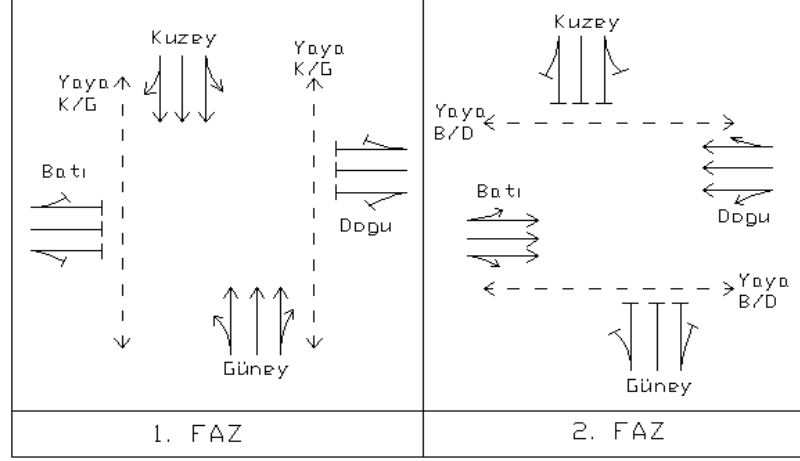
süreye yeşiller arası süre denir. Farklı yeşiller arası süre düzenlemeleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



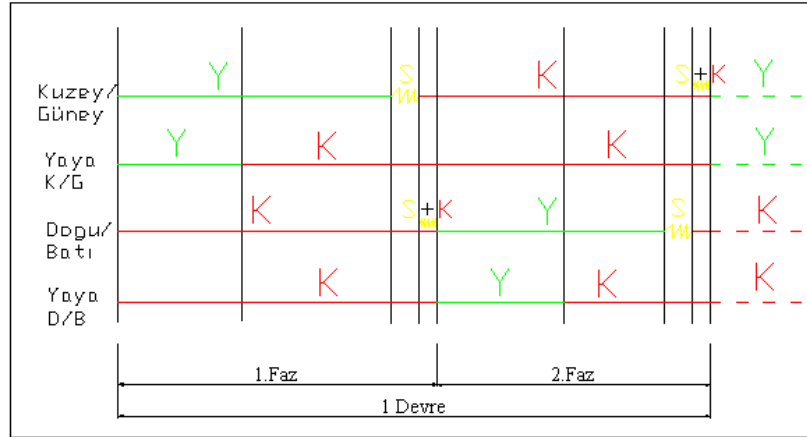
Şekil 2.1 Farklı Yeşiller Arası Süre Düzenlemeleri [4,11]

- **Akım düzeni (Faz düzeni):** Kavşaktaki akımların tümünün kavşaktan geçmesini sağlayan, akımların geçiş düzenini belirleyen düzenlemedir. Akan akımlar oklar ile duran akımlar düz çizgiyle gösterilerek akımların kavşaktan hangi sırada geçeceklerini gösteren temsili resimlerdir.

- **Devre düzeni:** Bir devre süresi boyunca tüm fazlarda akımların geçiş hakkı aldığı sürelerin ve yeşiller arası süre düzenlemelerinin bir zaman diyagramı ekseninde gösterilmesidir [4,10]. İki fazlı bir devreye ait akım ve devre düzeni örneği Şekil 2.2 ve 2.3’de sırası ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Akım Düzeni Örneği



Şekil 2.3 Devre Düzeni Örneği

3. KAPASİTE

Kavşak türünün belirlenmesinde etkili olan unsurlar, yatırım ve işletme maliyetleri, güvenlik, gecikme ve kapasitedir. Bu unsurlar arasında en önemlisi kapasitedir. Bir kavşağın etkin biçimde kullanılmasındaki en önemli etken kavşağın kapasitesidir. Kapasite işletme maliyeti, gecikmeler ve güvenliği doğrudan etkilemektedir. Günümüze kadar yapılan trafik mühendisliği alanındaki çeşitli çalışmalarda farklı kapasite tanımları yapılmıştır. Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi (HCM: Highway Capacity Manual, 2000)'ne göre bir yolun kapasitesi, geçerli yol, trafik ve denetim koşullarında, bir yolun ya da şeridin bir noktası ya da uniform bir parçasından geçmesi beklenen taşıt ya da yayaların maksimum saatlik değeridir [8].

Bir diğer tanımlamaya göre kapasite, ideal yol ve trafik koşullarında belirli bir yol kesitinden saatte geçen maksimum taşıt sayısıdır ve kuramsal (teorik) kapasite olarak adlandırılır [4].

Mümkün kapasite, yolun var olan geometrik koşulları ve yolu kullanmakta olan taşıt kompozisyon koşullarına göre o yoldan geçirilmesi muhtemel maksimum taşıt sayısıdır [10,13]. Pratik kapasite, beklenen akım şartlarında bir yoldan geçmesi mümkün olan en çok taşıt sayısıdır [14].

Yol kesimleri için tanımlandığı gibi kavşaklar için kapasite tanımlanmaktadır. Bir anayol ağında, kavşaklar tüm kavşak kollarına hizmet eden bir nokta olduğundan, genelde kavşakların kapasitesi anayol ağının kapasitesini belirlemektedir [15]. Kavşağa giren akımların tümü aynı özelliklere sahip değildir. Bu sebeple kavşağa giren akımlar farklı hacimler taşımaktadır. Bu akımlardan en az bir tanesi, taşıdığı trafik hacminin diğer akımların taşıdığı trafik hacimlerinden daha fazla olması nedeniyle daha önce doygun hale gelir. Bu akıma kritik akım denir. Tüm kavşağın kapasitesi ise bir ya da daha fazla kolun kritik olduğu anda kavşaktan geçen toplam hacim olarak tanımlanır [3].

4. IŞIKLI KAVŞAKLARDA KAPASİTE

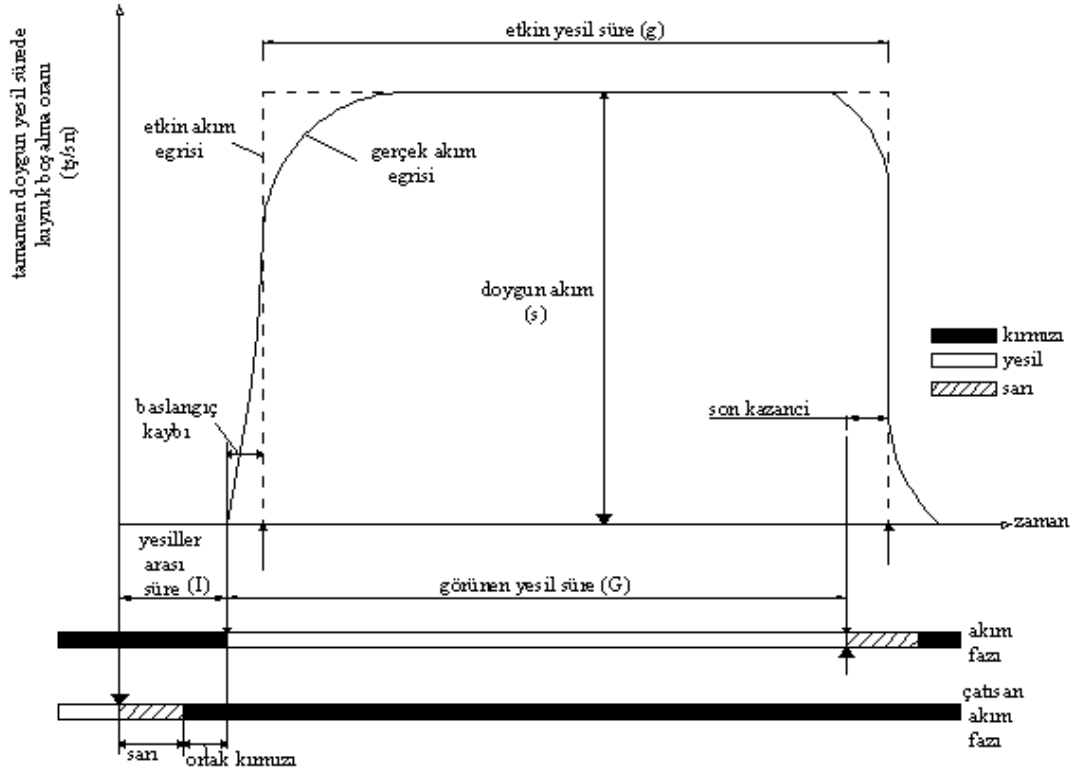
Eşdüzey kavşaklarda sinyalizasyon ile yapılan denetim en gelişmiş denetim biçimidir. Kavşakların güvenliğini ve kapasitesini arttırmak için sinyalizasyon sistemleri 1920'lerden bu yana kullanılmaktadır.

Sinyalizasyon denetimi, kent içi trafiğinde kapasitenin iyileştirilmesi olarak sıklıkla kullanılır. Işıklı kavşakların kapasite tahmin yöntemleri düzgün bir yol tasarımı ve etkili bir trafik yönetimi için önemlidir [16].

Işıklı kavşaklarda kırmızı ışıkta taşıtlar biriktirilip yeşil ışıkta düzenli olarak hareket etmeleri sağlandığı için kapasite kaybı kontrol edilebilir. Bu sayede denetimsiz kavşaklara göre %50'lere varan oranda kapasite artışı sağlanabilir. Bir ışıklı kavşağın kapasitesi şerit sayısı ve tipine bağlı olmakla birlikte kavşakta uygulanmakta olan akım ve devre düzenine bağlıdır. Kavşağa ulaşan her akım, belli aralıklarla ve belli bir süre ile kavşağa giriş hakkı alır. Sözü edilen giriş hakkını aldığı süre, akımın yeşil süresi olarak adlandırılır. Yeşil süre, kavşağın kapasitesini etkileyen önemli etmenlerden biridir [4].

Kavşağın kapasitesini etkileyen etmenlerden önemli bir tanesi de doygun akım değeridir. Bir akım için verilen yeşil sürenin başlangıcında, durmakta olan taşıtlar harekete geçip kuyruk sabit bir hızla boşalmaya başlayana kadar kısa bir süre kaybı ortaya çıkar. Başlangıç kaybı olarak adlandırılan bu sürenin ardından, eğer kuyrukta bekleyen yeterince taşıt varsa, taşıtlar sabit bir hızla, dolayısıyla sabit bir hacimde kavşağa girerler. Söz konusu sabit hacim yoldan geçmesi mümkün olan maksimum hacimdir. Bu durum, akıma sarı ışık yanana kadar devam eder. Bu süre zarfında taşıtların kavşağa girdiği sabit hacme "doygun akım" denir. Bir başka deyişle doygun akım, sonsuz bir kuyruğun olduğu ve bu kuyruğun kavşağa girmesi için sürekli hak tanıdığı durumda ortaya çıkacak hacim değeridir. Açıklanan durum Şekil 4.1'de görülmektedir.

Doygun akım değeri, kavşağın geometrisine dolayısıyla kavşak kolunun genişliği ve eğimine, sağa ve sola dönen taşıtların sayılarına, trafik düzenlemesine ve özellikle ağır taşıt sayısına, yaya etkisine ve park eden taşıtların varlığına bağlıdır. Bunların yanında daha az önemli olmakla birlikte pek çok başka etmende doymun akım üzerinde etkilidir. Doymun akım ve kayıp süre doğrudan arazide ölçülebilir.



Şekil 4.1: Yeşil Süre Boyunca Akımın Kavşağa Girişi [17]

Işıklı kavşaklarda kapasite çözümlene yöntemlerinden önemli üç tanesi Webster (İngiliz), Yolların Kapasitesi El Kitabı (HCM: Highway Capacity Manual, 1985) ve Avustralya yöntemleridir. Günümüzde geçerli olan yöntemlerin en gelişmişisi ise 1981 yılında Avustralya'da yayınlanan ve Dr. Rahmi Akçelik tarafından üretilen Avustralya yöntemidir. 1981 yılından bu yana Dr. Rahmi Akçelik bu yöntemi sürekli olarak geliştirmektedir.

Bu çalışmada kapasite çözümlene yöntemlerinden, Webster (İngiliz), Yolların Kapasitesi El Kitabı (HCM: Highway Capacity Manual, 1985), Avustralya Yöntemleri ile çözümlenmeler yapılmıştır. Ayrıca, Avustralya yöntemini esas alan Sidra Intersection 3.2 Programı ile de çözümlene yapılmıştır.

4.1 Webster (İngiliz) Yöntemi

Webster yöntemine göre ışıklı bir kavşağın kapasitesi sinyal kontrollü bir kavşaktan geçebilecek taşıt miktarı; bu trafiğin aldığı yeşil süreye ve yeşil süre boyunca dur çizgisini geçen maksimum taşıt sayısına bağlıdır. Yeşil süre başladığı zaman taşıtların normal akış hızına ulaşana kadar bir miktar zamana ihtiyacı vardır. Bu birkaç saniyelik süreden sonra kuyruklanma sabit bir oranda boşalmaktadır ve bu sabit orana doymun akım denir [11,18].

Şekil 4.1’de görülen yeşil ve sarı süreleri kapsayan zaman aralığında bir “etkin yeşil süre” ve bir “kayıp süre” tanımlamak mümkündür. Trafik akımının doymun olarak aktığı süreye etkin yeşil süre denir. Kayıp süre ise trafik akımının geçmediği zamandır. Yani kavşağa yeşilde giren son taşıtın kırmızı yandıktan sonra kavşağı güvenle terk etmesi için gerekli olan süredir. Kayıp süre, koruma süresi ya da yeşiller arası süre olarak da tanımlanır. Bu durumda kapasite, etkin yeşil süre ile doğrudan orantılıdır.

Buna göre kavşak kolunun kapasitesi;

$$c = \frac{g^*s}{D} (tş / sa) \quad (4.1)$$

Burada,

c: Kavşak kolunun kapasitesi (taşıt/saat)

g: Etkin yeşil süre (sn)

s: Doymun akım (taşıt/saat)

D: Devre süresi (sn)

Etkin Yeşil Süre;

$$g = G - l \quad (4.2)$$

Burada,

G: Görünen yeşil süre (sn)

l: Kayıp süre (sn)

Webster yöntemine göre kavşağın kapasitesi, devre içindeki kayıp sürelerin toplamına (L) bağlıdır.

Toplam Kayıp Süre;

$$L = \sum (I - a) + \sum l \quad (4.3)$$

Burada,

I: Yeşiller arası süre

a: Sarı ışık süresi

l: Bir fazdaki kayıp süre

Webster yöntemine göre bir fazdaki toplam kayıp süre, yeşiller arası süreden sarı ışık süresinin farkı alınarak bir fazdaki kayıp sürenin toplanması ile elde edilir. Bir fazdaki kayıp süre (l), başlangıç kaybı ve fazın sarı süresinin ikinci yarısının toplamıdır. Bir devredeki tüm fazlardaki kayıp sürelerin toplamı, (4.3) bağıntısında tanımlanan “L” ile verilmektedir. Devrenin geri kalanı yararlı süre olarak adlandırılmaktadır. Bu yararlı süre fazlar arasında paylaşılmaktadır.

Her fazın ağırlıklı akım hacminin, doymun akımına olan oranı akım oranı olarak ifade edilmektedir. Webster yönteminde bu oran doymunluk derecesini belirtmektedir. Doymunluk derecesi “y” ile gösterilirse, kavşağa bir devrede gelen bütün trafiği geçirebilecek kadar uzun olan devre süresi (D_m) aşağıdaki denklemle elde edilebilir.

$$D_m = \frac{L}{1 - Y} \quad (4.4)$$

Burada “Y”, her bir fazın “y” değerlerinin toplamıdır.

Kavşaktaki toplam gecikme süresini en aza indirecek uygun devre süresinin hesaplanabilmesi için F.V.Webster tarafından Optimum Devre Süresi modeli geliştirilmiştir.

$$D_o = \frac{\phi * L + 5}{1 - Y} \quad (4.5)$$

Burada,

D_0 : Optimum devre süresi (sn)

L : Bir devredeki toplam kayıp süre

Y : Her bir fazdaki kritik akımlar için doygunluk dereceleri toplamı

ϕ : 1,2-1,8 arasında bir değer olarak alınan koşullara göre değişken bir katsayı

Hesaplanan devre süresinin fazlara dağılımı için öncelikle etkin yeşil süre, devre süresinden kayıp sürenin farkı alınarak bulunur ve her bir fazdaki kritik akım oranına göre dağıtılır.

$$g_{\text{etkin}} = D - L \quad (4.6)$$

Etkin yeşil sürenin iki faza sahip bir devrede fazlara dağılımı aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$\left. \begin{aligned} g_1 &= (g_{\text{etkin}} * y_1) / Y \\ g_2 &= (g_{\text{etkin}} * y_2) / Y \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

4.1.1 Doygun akım tahmini

Webster yönteminde temel doygun akım değeri kavşak kolu genişliğine göre belirlendikten sonra, eğim, trafik kompozisyonu, sağ ve/veya sol dönen trafik, yaya etkisi ve park şeridi etkisine göre düzeltilmektedir.

- **Kavşak kolunun genişliği**

Temel doygun akım (s), dönen trafiğin ve park etmiş taşıtların bulunmadığı durumda aşağıdaki bağıntıdan elde edilerek saatte birim oto cinsinden ifade edilmektedir.

$$s = 160 * w_a \quad (4.8)$$

Burada,

s : Doygun akım (bo/saat)

w_a : Kavşak kolu genişliği, (ft)

10ft ve 17ft arasındaki kavşak kolu genişliği için temel doygun akım değerleri Tablo 4.1'de görüldüğü gibi (4.8) bağıntısı ile elde edilenden farklı değerler almaktadır.

Tablo 4.1 Kavşak Kolu Genişliğine Göre Temel Doygun Akım Değerleri [11]

w_a (ft)	10	11	12	13	14	15	16	17
s (bo/sa)	1850	1875	1900	1950	2075	2250	2475	2700

- **Eğim**

Her %1'lik çıkış eğiminde doygun akım değeri %3 azaltılır ve her %1'lik iniş eğiminde doygun akım değeri %3 arttırılır.

- **Trafik kompozisyonu**

Doygun akım üzerine farklı türdeki taşıtların etkisi Tablo 4.2'de verilen birim oto eşdeğerleri ile tanımlanmaktadır. Birim oto eşdeğerleri kullanılarak hacim düzeltmesi yapılır.

Tablo 4.2 Farklı Türdeki Taşıtların Birim Oto Eşdeğeri [11]

1 ağır taşıt	1,75 bo
1 otobüs	2,25 bo
1 tramvay	2,50 bo
1 hafif taşıt	1,00 bo
1 motosiklet	0,33 bo
1 bisiklet	0,20 bo

- **Sol dönen trafiğin etkisi**

Eğer çatışan sol dönen akım trafiği tıkarsa kavşak kapasitesi kolaylıkla değerlendirilemeyecektir. Tıkanık olmayan şartlar altında sol dönen trafiğin etkisi ya çatışan trafik akımlarının aynı fazı kullanıp kullanmadığına ya da sol dönen trafiğin özel bir sol dönüş şeridine sahip olup olmadığına bağlıdır. Dört farklı durum söz konusudur. Bu durumlar aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

- Çatışan akımsız ve özel sol dönüş şeritsiz durum: Bu durumda kavşak için doygun akım değeri, doygun akım tahmini bölümünde tanımlandığı şekilde bulunur.
- Çatışan akımsız ve özel sol dönüş şeritli durum: Sol dönen akımın doygun akımı ayrı bir şekilde bulunur. Buna göre R, dönüş yarıçapı (ft) olmak üzere,

Doygun akım;

$$\begin{aligned} \text{Sol dönüş şeridi 1 tane ise: } s &= \frac{1800}{1 + \frac{5}{R}} \text{ (bo/sa)} \\ \text{Sol dönüş şeridi 2 tane ise: } s &= \frac{3000}{1 + \frac{5}{R}} \text{ (bo/sa)} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} s &= \frac{1800}{1 + \frac{5}{R}} \\ s &= \frac{3000}{1 + \frac{5}{R}} \end{aligned}} \right\} \quad (4.9)$$

- Çatışan akımlı ve özel sol dönüş şeritsiz durum: Bu durumda çatışan akım kendisinin gecikmesine neden olmaktadır. Bu sebeple aynı akımdaki doğru giden taşıtlarında gecikmesine neden olmaktadır. Ayrıca, yeşil sürenin sonunda kavşakta bekleyen sol dönen taşıtlar, kavşağı boşaltmak için bir miktar süre kullanmakta ve karşı fazın başlangıcını geciktirmektedirler. Bu etkilere her bir sol dönen taşıtı 1,75 doğru giden taşıt cinsinden alarak izin verilebilir.
- Çatışan akımlı ve özel sol dönüş şeritli durum: Sol dönenler gibi aynı kavşak kolunu kullanan doğru giden trafik için gecikme olmamaktadır fakat karşı faz için gecikme söz konusudur. Bu durumda her bir sol dönen taşıt 1,75 doğru giden taşıt cinsinden alınır.

- **Sağ dönen trafiğin etkisi**

Doygun akım üzerine sağ dönenlerin etkisi dönüş sayısına ve yaya akımına bağlıdır. Az sayıdaki sağ dönenler (tüm trafiğin yaklaşık %10'u kadar), doğru giden trafik akımıyla karışıkları için herhangi bir düzeltmeye gerek yoktur.

Eğer sağ dönenler trafiğin %10'nundan daha fazla ise %10'u geçen sağ dönen taşıtların her biri 1,25 doğru giden taşıta eşit olduğu düzeltmesi yapılır.

- **Yaya etkisi**

Yaya trafiği az ise sorun teşkil etmemektedir. Yaya trafiği fazla ise yayalara ayrı bir faz verilmelidir ya da çevre etkisi kapsamında düşünölmelidir.

- **Park şeridi etkisi**

Dur çizgisinin yakınına park etmiş bir taşıt yüzünden doygun akımdaki azalma park etmiş taşıtın bulunduğu şerit genişliğinde kayıp olarak ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$w_{a-kayıp} = 5,5 - \frac{0,9*(z - 25)}{g} \quad (4.10)$$

Burada,

z: Park eden taşıtın dur çizgisine olan uzaklığı

(z < 25ft ise kısa şerit etkisi yok kabul edilir ve z > 25 ft ise $w_{a-kayıp}$ hesaplanarak etkin şerit genişliği “ $w_{a-et} = w_a - w_{a-kayıp}$ ” bağıntısı ile hesaplanır)

g: yeşil süre (sn)

$w_{a-kayıp}$: park eden taşıt yüzünden şerit genişliğindeki kayıp (ft)

4.1.2 Gecikme hesabı

Işıkli kavşaklarda taşıtların maruz kaldığı gecikme, tasarım ve değerlendirme aşamasında kavşak performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür. Işıkli bir kavşaktaki toplam gecikme bir taşıtın denetimli bir kavşakta beklemeden kavşağı boşalttığı süre ile kavşağı gelerek beklediğı süre (durma gecikmesine maruz kaldığı süre) arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmaktadır [19].

Webster (İngiliz) yöntemine göre sabit zamanlı sinyalizasyonda bir akım için ortalama gecikme değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$w = \left(\frac{D * (1 - \lambda)^2}{2 * (1 - \lambda * x)} \right) + \left(\frac{x^2}{2 * q * (1 - x)} \right) - \left(0,65 * \left(\frac{D}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} * x^{(2+5*\lambda)} \right) \quad (4.11)$$

Burada,

w: Bir kavşak kolundaki taşıt başına ortalama gecikme (sn)

λ : Yeşil süre oranı ($\lambda = g/D$)

x: Bir kavşak kolundan geçen akımın o kavşaktan geçebilecek maksimum akıma oranıdır ($x = q / \lambda * s$)

4.2 Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi

(HCM: Highway Capacity Manual, 1985)

Yolların kapasitesi el kitabı yöntemine göre kavşaklarda kapasite her bir kavşak kolu için tanımlanır. Kavşak kolunun kapasitesi, mevcut trafik, geometri ve sinyalizasyon koşullarında o kolun kavşaktan geçirebileceği maksimum hacim olarak tanımlanır. Bir kavşak kolundaki akım oranı, bu kavşak kolunun geçirdiği gerçek hacmin doymuş akıma oranıdır.

Bir kavşak kolunun ya da şerit grubunun kapasitesi aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir.

$$c_i = s_i * \left(\frac{g}{D} \right)_i \quad (4.12)$$

Burada,

c_i : i kavşak kolunun ya da şerit grubunun kapasitesi (taşıt/saat)

s_i : i kavşak kolunun ya da şerit grubunun doymuş akımı

$(g / D)_i$: i kavşak kolunun ya da şerit grubunun yeşil süre oranı

Akımın kapasiteye oranı (q/c), doymuşluk derecesini ifade etmektedir. Bir kavşak kolunun ya da şerit grubunun doymuşluk derecesi aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir.

$$x_i = \left(\frac{q}{c}\right)_i \quad (4.13)$$

$$x_i = \frac{(q * D)_i}{(s * g)_i}$$

Burada,

x_i : i kavşak kolunun ya da şerit grubunun doygunluk derecesi

q_i : i kavşak kolunun ya da şerit grubunun akım değeri

g_i : i kavşak kolunun ya da şerit grubunun etkin yeşil süresi

Kavşak için kritik hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi) ise aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir.

$$x_c = \sum (q/s)_{ci} * \left[\frac{D}{D-L}\right] \quad (4.14)$$

Burada,

x_c : Kavşak için kritik hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi)

$\sum (q/s)_{ci}$: Her fazdaki kritik akım ya da akımlara ait akım oranları toplamı

D : Devre süresi (sn)

L : Devredeki toplam kayıp süre (sn)

Yolların kapasitesi el kitabı yöntemi tüm kavşak kollarının aynı zamanda doygunlaşmasının nadiren gerçekleşen bir durum olduğunu belirterek, en önemli etmen olarak kavşak kapasitesini almamaktadır. Bu yöntem, akımların gecikmeye maruz kalmadan kavşaktan geçip geçemeyeceklerine önem vermektedir.

Yolların kapasitesi el kitabı yöntemine göre sabit zamanlı sinyalizasyon sistemleri için devre süresi 4.14 bağıntısından aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$D = \frac{L * x_c}{\left[x_c - \sum_i (q/s)_{ci} \right]} \quad (4.15)$$

Burada,

D: Devre süresi (sn)

L: Devredeki toplam kayıp süre (sn)

x_c : Kavşak için kritik hacim/kapasite oranı (doygunluk derecesi)

$\sum(q/s)_{ci}$: Her fazdaki kritik akım ya da akımlara ait akım oranları toplamı

Devre süresinin fazlara dağılımında yeşil süreler aşağıdaki şekilde hesaplanır. Örneğin, iki faza sahip bir devrede, ilk fazdaki kritik akım ya da akımlar için gerekli olan en kısa yeşil süre aşağıdaki g_i bağıntısı ile hesaplanır. İkinci fazdaki kritik akım ya da akımlar için yeşil süre, ilk faz için hesaplanan yeşil süre ile kayıp sürenin toplamının devre süresinden çıkarılarak bulunan farka eşittir.

$$g_i = \frac{q_i * D}{s_i * x_i} = \left(\frac{q}{s}\right)_i * \left(\frac{D}{x_i}\right) \quad (4.16)$$

$$g_{i-diger} = D - (g_i + L)$$

Burada,

$(q/s)_i$: i akımına ait akım oranı

D: Devre süresi (sn)

x_i : i akımına ait q/c oranı

Yolların kapasitesi el kitabı yöntemine göre çözümlenmeler beş bölüme ayrılmaktadır.

4.2.1 Girdi bölümü

Girdi bölümü diğer hesaplamaları yapabilmek için gerekli olan geometrik, trafik ve sinyalizasyon ile ilgili temel bilgileri içermektedir. Geometrik bilgiler, kavşak kolu sayısı, şerit sayısı, şerit genişliği, eğim; trafik bilgileri, yaya ve taşıt hacimleri; sinyalizasyon bilgileri ise faz süreleri ve devre süresi şeklinde sıralanabilir. Bu verilerin büyük bölümü saha çalışmalarından elde edilmektedir. Trafik verileri tahmin edilerek, geometrik ve sinyal tasarımları var olan şartlara bağlı olacaktır ya da önerilecektir. Girdi bölümü için kavşak verilerinin tanımlandığı örnek bir çizelge Ek-A' da görülmektedir.

4.2.2 Hacim düzeltme bölümü

Bu bölümde saatlik trafik hacimlerinin zirve saat faktörü ile zirve saat trafiğine dönüştürülmesi, her şeridin kullanımına göre trafik akımlarının şerit gruplarına ayrıştırılması ve trafik hacimlerinin şerit kullanımına göre düzeltilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Hacim düzeltme bölümü hesaplamaları için örnek bir çizelge Ek-B' de görülmektedir.

4.2.2.1 Saatlik trafik hacimlerinin zirve saat trafiğine dönüştürülmesi

Kapasite çözümlenmeleri çoğunlukla zirve saat trafiğine odaklanmaktadır. Günlük ve saatlik hacimler arasında değişim yapabilmek için önemli bir faktör olan zirve saat faktörüne ihtiyaç vardır. Bir saat boyunca düzenli trafik akımı elde edilmediği için çözümlenmelerde 15 dakikalık akım periyotları dikkate alınır. 15 dakikalık zirve akım değeri ile tam bir saatlik akım değeri arasındaki ilişki zirve saat faktörü ile tanımlanmaktadır [8]. Zirve saat trafiğini hesaplamak için saatlik trafik hacimleri zirve saat faktörüne bölünür.

$$q_p = q / ZSF \quad (4.17)$$

Burada,

q_p : Zirve saat akım değeri

q : Saatlik trafik hacimleri (taşıt/saat)

ZSF: Zirve saat faktörü

4.2.2.2 Şerit gruplarının belirlenmesi

Bir kavşak kolunda birden fazla akım (sol, sağ dönen, doğru giden gibi) ve şerit varsa, her akıma ya da akım kümelerine şerit ayrılır. Şerit ya da şeritlerin hangi akımlarla kullanılacağı trafik hacimlerine göre karar verilir. Çözümlenmeler için bazı yaygın şerit grupları Şekil 4.2' de gösterilmektedir.

SERIT SAYISI	SERIT AKIMLARI	OLASI SERIT GRUPLARI
1	Sol dönen(LT)+ Dogru giden(TH)+ Sag dönen(RT)	①
2	Sol dönen(özel LT) Dogru giden(TH)+ Sag dönen(RT)	②
2	Sol dönen(LT)+ Dogru giden(TH) Dogru giden(TH)+ Sag dönen(RT)	① ya da ②
3	Sol dönen(özel LT) Dogru giden(TH) Dogru giden(TH)+ Sag dönen(RT)	② ya da ③

Şekil 4.2 Çözümleme İçin Tipik Şerit Grupları [12]

Şerit gruplarının tayininde aşağıdaki kılavuz uygulanabilir:

- Özel bir sol dönüş şeridi ya da şeritler, ayrı bir şerit grubu gibi tayin edilmelidir. Aynı durum özel bir sağ dönüş şeridi içinde geçerlidir.
- Özel sol dönüş ve/veya sağ dönüş şeritli kavşak kollarında, kavşak kolundaki diğer tüm şeritler genellikle tek bir şerit grubuna dâhil edilmektedir.
- Birden fazla şeritli kavşak kolunda, hem sol dönen hem de doğru giden taşıtların kullandığı bir şerit olabilir. Bu kavşak kolunda sol dönüşlerin çok olmasından dolayı şeridin özel bir sol dönüş şeridi gibi hareket edip etmediğine karar vermek gereklidir. Bu kararı vermek için basit bir bağıntı kullanılmaktadır. Bu bağıntıda sol dönen akım oranı, doğru giden taşıtların yaklaşık eşdeğer akımına çevrilmektedir.

$$q_{eşdeğer-soldönen} = q_{soldönen} * \frac{1800}{1400 - q_o} \quad (4.18)$$

Burada,

$q_{eşdeğer-soldönen}$: Yaklaşık eşdeğer sol dönen akım (tş/sa)

$q_{soldönen}$: Gerçek sol dönen akım (tş/sa)

q_o : Toplam çatışan akım (tş/sa)

Toplam çatışan akım değeri 1400 tş/sa'e eşit ya da daha büyük ise 4.18 bağıntısı geçersiz olmaktadır. Bu durumda eşdeğer sol dönüş akımı kavşak kolunun en sol şeridini tamamen işgal etmektedir. Yani eğer en sol şeritteki eş değer akım oranı, diğer şeritlerdeki ortalama akım oranını geçerse, bu şeridin özel bir şerit grubu gibi davrandığı kabul edilir ve ayrı bir sol şerit grubu olarak kurulur.

Böylece, eğer:

$$q_{eşdeğer-soldönen} \geq \frac{(q_a - q_{soldönen})}{(N-1)}$$

Şeklinde ise sol şeridin, özel sol dönüş şeridi gibi işlediği kabul edilir ve bu şerit ayrı bir şerit grubu olarak çözümlenmeye alınır.

Burada,

q_a : Kavşak kolundaki tş/sa cinsinden toplam akım

N : Kavşak kolundaki toplam şerit sayısı

Eğer eş değer sol dönen akım oranı, diğer şeritlerdeki ortalama akım oranından daha az ise, doğru giden taşıtların dengeyi yakalamak için sol şeridi paylaştığı kabul edilir ve tüm kavşak kolu tek bir şerit grubu olarak düşünülür.

Ya da eğer:

$$q_{eşdeğer-soldönen} < \frac{(q_a - q_{soldönen})}{(N-1)}$$

Şeklinde ise sol şeridin ortak kullanımı söz konusu olacaktır ve bu şerit toplam kavşak kolunun bir parçası olarak çözümlenmeye dâhil edilir.

4.2.2.3 Trafik hacimlerinin şerit kullanımına göre düzeltilmesi

Birden fazla şeride sahip kavşak kolunda her bir şeritteki akım değeri eşit değildir. Her bir şerit grubunun akım değeri, eşit olmayan şerit kullanımını düzeltmek için şerit kullanım faktörü ile çarpılmaktadır.

Şerit grubu için düzeltilmiş talep akımı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$q = q_g * U_f \quad (4.19)$$

Burada,

q: Şerit grubu için düzeltilmiş talep akımı (tş/sa)

q_g: Şerit grubu için düzeltilmemiş talep akımı (tş/sa)

U_f: Şerit kullanım faktörü, Tablo 4.3'den alınır.

Tablo 4.3 Şerit Kullanım Faktörleri [12]

Gruptaki doğru giden şeritlerin sayısı	Şerit Kullanım Faktörü, U _f
1	1,00
2	1,05
≥ 3	1,10

4.2.3 Doygun akım değeri bölümü

Bu bölümde 1800 teş/sa-şr olarak alınan temel doygun akım değeri, geçerli şartlar altında kavşak kolunun ve trafik akımlarının durumlarına göre çeşitli düzeltme faktörleri ile çarpılarak düzeltilmektedir. Doygun akım değeri bölümü hesaplamaları için örnek bir çizelge Ek-C' de verilmektedir.

Düzeltilme faktörleri aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Şerit genişliği faktörü (f_w), şerit genişliğine göre Tablo 4.4'den seçilir.

Tablo 4.4 Şerit Genişliği Faktörü [12]

Şerit Genişliği, ft	8	9	10	11	12	13	14	15	≥16
Şerit Genişlik Faktörü, f _w	0,87	0,90	0,93	0,97	1,00	1,03	1,07	1,10	2 şerit al

- Ağır taşıt faktörü (f_{HV}), ağır taşıt yüzdesine göre Tablo 4.5'den seçilir.

Tablo 4.5 Ağır Taşıt Faktörü [12]

Ağır Taşıt Yüzdesi, %HV	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30
Ağır Taşıt Faktörü, f _{HV}	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87

- Eğim faktörü (f_g), kavşak kolu eğimine göre Tablo 4.6'dan seçilir.

Tablo 4.6 Eğim Faktörü [12]

Eğim,%	Aşağı eğim			Düz seviye	Yukarı eğim		
	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6
Eğim Faktörü, f_g	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97

- Park etme faktörü (f_p), Tablo 4.7'den seçilir.

Tablo 4.7 Park Etme Faktörü, f_p [12]

Şerit Grubundaki Şerit sayısı	Park yasak ise	Bir saatte meydana gelen park manevra sayısı, N_m				
		0	10	20	30	40
1	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
2	1,00	0,95	0,92	0,89	0,87	0,85
3	1,00	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89

- Kavşakta duran otobüs duruş sayısı faktörü (f_{bb}), Tablo 4.8'den seçilir.

Tablo 4.8 Kavşakta duran otobüs duruş sayısı faktörü, f_{bb} [12]

Şerit Grubundaki Şerit sayısı	Bir saatte meydana gelen otobüs duruş sayısı, N_B				
	0	10	20	30	40
1	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83
2	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92
3	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94

- Bölge türü faktörü (f_a), Tablo 4.9'dan seçilir.

Tablo 4.9 Bölge Türü Faktörü [12]

Bölge türü	Faktör, f_a
MİA	0,90
Diğer bölgeler	1,00

- Sağ dönüşler ve sol dönüşler için düzeltme faktörleri Tablo 4.10 ve 4.11'den seçilir.

Tablo 4.10 Sağ Dönüş Düzeltme Faktörü [12]

Durum	Şerit grup türü	Sağ dönüş faktörü, $f_{sağdönen}$							
1	Özel sağ dönüş şeridi, Korunan faz	0,85							
2	Özel sağ dönüş şeridi, İzin verilen Faz	$f_{sağdönen} = 0,85 - (yaya/2.100)$							
		Çatışan yaya akımı Sayısı(yaya)	0	50 (az)	100	200 (orta)	300	400 (çok)	
		Faktör	0,85	0,83	0,80	0,75	0,71	0,66	
3	Özel sağ dönüş şeridi, Korunan ve İzin verilen Faz	$f_{sağdönen} = 0,85 - (1 - P_{RTA}) * (yaya/2.100)$							
		$f_{sağdönen} = 0,05(\text{minimum})$							
		Çatışan yaya akımı Sayısı(yaya)	Korunmuş fazı kullanan sağ dönen oranı, P_{RTA}						
			0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	
		0	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
		50(az)	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	
		100	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	
		200(orta)	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	
300	0,71	0,74	0,76	0,79	0,82	0,85			
400(çok)	0,66	0,70	0,74	0,77	0,81	0,85			
4	Paylaşılan sağ dönüş şeridi, Korunan faz	$f_{sağdönen} = 1,0 - (0,15 * P_{RT})$							
		Şeritte sağ dönen oranı, P_{RT}	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	
		Faktör	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	
5	Paylaşılan sağ dönüş şeridi, İzin verilen Faz	$f_{sağdönen} = 1,0 - P_{RT} [0,15 + (yaya/2.100)]$							
		$f_{sağdönen} = 0,05(\text{minimum})$							
		Çatışan yaya akımı Sayısı(yaya)	Şerit grubunda sağ dönen oranı, P_{RT}						
			0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	
		0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	
		50(az)	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,83	
		100	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84	0,80	
		200(orta)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	
400(çok)	1,00	0,93	0,86	0,80	0,73	0,66			
6	Paylaşılan sağ dönüş şeridi, Korunan ve İzin verilen faz	$f_{sağdönen} = 1,0 - P_{RT} [0,15 + (yaya/2.100)] * (1 - P_{RTA})$							
		$f_{sağdönen} = 0,05(\text{minimum})$							
		Korunmuş fazı kullanan sağ dönen oranı, P_{RTA}	Çatışan yaya akımı Sayısı(yaya)	Şerit grubunda sağ dönen oranı, P_{RT}					
				0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		0,00	Tümü	5. durum ile aynı					
		0,20	0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
			50	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,83
			200	1,00	0,95	0,91	0,86	0,82	0,77
			400	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70
		0,40	0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
			50	1,00	0,97	0,94	0,91	0,87	0,84
			200	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79
			400	1,00	0,95	0,89	0,84	0,79	0,74
		0,60	0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
			50	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,84
			200	1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,81
			400	1,00	0,95	0,89	0,86	0,82	0,77
		0,80	0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
			50	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
			200	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,83
400	1,00		0,96	0,92	0,89	0,85	0,81		
1,00	Tümü	4. durum ile aynı							

Tablo 4.10 Sağ Dönüş Düzeltme Faktörü Devamı									
7	Tek şerit yaklaşımı	$f_{\text{sağdönen}} = 0,90 - P_{RT} [0,135 + (\text{yaya}/2.100)]$							
		$f_{\text{sağdönen}} = 0,05(\text{minimum})$							
		Çatışan yaya akımı Sayısı(yaya)	Tek şeritte sağ dönen oranı, P_{RT}						
			0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	
		0	1,00	0,87	0,85	0,82	0,79	0,77	
		50(az)	1,00	0,87	0,84	0,81	0,77	0,74	
100	1,00	0,86	0,83	0,79	0,76	0,72			
200(orta)	1,00	0,86	0,81	0,77	0,72	0,68			
300	1,00	0,85	0,79	0,74	0,69	0,64			
400(çok)	1,00	0,84	0,78	0,72	0,65	0,59			
8	Çift özel sağ dönüş şeridi, Korunan faz	0,75							

Tablo 4.11 Sol Dönüş Düzeltme Faktörü [12]

Durum	Şerit grup türü	Sol dönüş faktörü, $f_{\text{soldönen}}$						
1	Özel sol dönüş şeridi, Korunan faz	0,95						
2	Özel sol dönüş şeridi, İzin verilen faz	Özel Hesaplama Uygulanır (Bkz. $f_{\text{soldönen}}$ ek föyü)						
3	Özel sol dönüş şeridi, Korunan ve İzin verilen faz	0,95*						
		*Bu değer başlangıç tahmini değeridir. Bu durum için çözüm dögüseldir. Çoğu örnekte, bu durumu ayrı birer izin verilen ve korunan faz olarak almak önerilir.						
4	Paylaşılan sol dönüş şeridi, Korunan faz	$f_{\text{soldönen}} = 1,0 / (1,0 + 0,05 * P_{LT})$						
		Şeritte sol dönen oranı, P_{LT}	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		Faktör	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95
5	Paylaşılan sol dönüş şeridi, İzin verilen faz	Özel Hesaplama Uygulanır (Bkz. $f_{\text{soldönen}}$ ek föyü)						
6	Paylaşılan sol dönüş şeridi, Korunan ve İzin verilen faz	Eğer $q_0 \leq 1.220$ tş/st $\rightarrow f_{\text{soldönen}} = (1.400 - q_0) / [(1.400 - q_0) + (235 + 0,435 * q_0) * P_{LT}]$						
		Eğer $q_0 > 1.220$ tş/st $\rightarrow f_{\text{soldönen}} = 1 / [1 + 4.525 * P_{LT}]$						
		Karşıt trafik hacmi q_0	Şerit grubunda sol dönen oranı, P_{LT}					
			0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86
		200	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78
		400	1,00	0,92	0,85	0,80	0,75	0,70
		600	1,00	0,88	0,79	0,72	0,66	0,61
800	1,00	0,83	0,71	0,62	0,55	0,49		
1.000	1,00	0,74	0,58	0,48	0,41	0,36		
1.200	1,00	0,55	0,38	0,29	0,24	0,20		
≥ 1.220	1,00	0,52	0,36	0,27	0,22	0,18		
7	Tek şerit yaklaşımı	Özel Hesaplama Uygulanır (Bkz. $f_{\text{soldönen}}$ ek föyü)						
8	Çift özel sol dönüş şeridi, Korunan faz	0,92						

- **Düzeltilmiş doygun akım değeri**

Her bir şerit grubu için düzeltilmiş doygun akım değeri; temel doygun akım değerinin, yukarıda belirtilen düzeltme faktörleri ve şerit grubundaki şerit sayısı ile çarpımı şeklinde aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$s = s_o \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{sağdönen} \cdot f_{soldönen} \quad (4.20)$$

4.2.4 Kapasite çözümleme bölümü

Bu bölümde, fazlara göre şeritlerdeki ya da şerit kümelerindeki akım oranları hesaplanır. Her fazda akım oranı en büyük olan akım(lar) kritik akım(lar)dır. Kavşak için kritik akımlardan yararlanarak devre süresi hesaplanır. Her şerit grubu için kapasite ve hacim/kapasite oranları bulunur. Kapasite çözümleme bölümü hesaplamaları için örnek bir çizelge Ek-D' de görülmektedir.

4.2.5 Hizmet düzeyi bölümü

Hizmet düzeyi gecikme, doygunluk derecesi, yoğunluk ve hız gibi hizmet ölçütlerine dayanan, bir şeritte ya da kavşaktaki trafiğin işletimsel performans indeksidir [8,10]. Hizmet düzeyi bölümü her bir şerit grubunda taşıt başına ortalama duruş gecikmesini hesaplayabilmek için hacim düzeltme, doygun akım ve kapasite çözümleme bölümlerinin sonuçlarını kapsamaktadır. Hizmet düzeyi bölümü hesaplamaları için örnek bir çizelge Ek-E' de görülmektedir.

Her bir şerit grubu için gecikme aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$w = 0,38 * D * \left[\frac{(1 - g/D)^2}{1 - (g/D) * x} \right] + 173 * x^2 * \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + (16 * x / c)} \right] \quad (4.21)$$

Bu bağıntı hesaplama kolaylığı açısından ikiye ayrılır ve daha sonra toplanır.

$$w_1 = 0,38 * D * \left[\frac{(1 - g/D)^2}{1 - (g/D) * x} \right]$$

$$w_2 = 173 * x^2 * \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + (16 * x/c)} \right] \quad (4.22)$$

$$w = w_1 + w_2$$

- **Birinci gecikme terimi (w_1)**

Gecikme bağıntısının ilk terimi düzenli gecikme olarak alınmaktadır. Örneğin, eğer geliş akımları düzenli bir şekilde dağılmış veya hiçbir devre süresince aşırı doyumluk görülmemişse bu düzgün gecikme bir şerit grubunda bitecektir. Bu ilk gecikme terimi şerit grubu için hacim/kapasite oranına, yeşil süre oranına ve devre süresine bağlıdır.

- **İkinci gecikme terimi (w_2)**

Gecikme denkleminin ikinci terimi artış gecikmesi olarak adlandırılır. Örneğin, düzenli gelişlerden ziyade rasgele gelişler yüzünden ve aşırı doyum devreler yüzünden düzgün gecikmenin altında ve üstündeki gecikmelerdir. Bu ikinci gecikme terimi şerit grubu için hacim/kapasite oranına ve kapasiteye bağlıdır.

- **Her bir şerit grubu için gecikme ve hizmet düzeyinin bulunması**

Her bir şerit grubu için gecikme değeri, birinci ve ikinci gecikme terimlerinin toplamının ilerleme faktörü (PF) ile çarpımıdır. Her bir şerit grubu için ilerleme faktörü (PF) akımların kavşağa geliş türüne göre Tablo 4.12'den bulunarak her bir şerit grubu için her taşıtın ortalama duruş gecikme değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Gecikme = (w_1 + w_2) * PF \quad (4.23)$$

Her bir şerit grubu için hizmet düzeyi Tablo 4.13'den elde edilir.

Tablo 4.12 İlerleme Faktörü (PF) [12]

Sinyal Türü	Şerit Grup Türü	q/c Oranı, x	Geliş Türü				
			1	2	3	4	5
Sabit zamanlı	doğru giden, sağ dönen	≤0,6	1,85	1,35	1,00	0,72	0,53
		0,8	1,50	1,22	1,00	0,82	0,67
		1,0	1,40	1,18	1,00	0,90	0,82
Trafik uyarmalı	doğru giden, sağ dönen	≤0,6	1,54	1,08	0,85	0,62	0,40
		0,8	1,25	0,98	0,85	0,71	0,50
		1,0	1,16	0,94	0,85	0,78	0,61
Yarı-Trafik uyarmalı	Ana cadde doğru giden, sağ dönen ^a	≤0,6	1,85	1,35	1,00	0,72	0,42
		0,8	1,50	1,22	1,00	0,82	0,53
		1,0	1,40	1,18	1,00	0,90	0,65
Yarı-Trafik uyarmalı	Yan cadde doğru giden, sağ dönen ^a	≤0,6	1,48	1,18	1,00	0,86	0,70
		0,8	1,20	1,07	1,00	0,98	0,89
		1,0	1,12	1,04	1,00	1,00	1,00
	Tüm sol dönen ^b	Tümü	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

^a Yarı-Trafik uyarmalı sinyaller, tüm fazla yeşil sürenin ana caddeye verilmesi üzerine zamanlanmıştır.

^b Bu sınıf yalnızca, korunmuş faza sahip özel sol dönüş gruplarını yansıtmaktadır. Bütün bir yaklaşımı kapsayan sol dönüşlerin dâhil olduğu bir şerit grubunda, tüm şerit grubu türleri için bu faktör kullanılır.

Tablo 4.12’de yer alan geliş türleri aşağıda gibi tanımlanmaktadır:

1.Tür: Kırmızı fazın başında kavşağa gelen yoğun bir akımın bulunduğu durumdur. Bu tür istenmeyen bir durumdur.

2.Tür: Kırmızı fazın ortalarında yoğun bir akım olarak kavşağa gelen ya da kırmızı faz boyunca dağınık olarak kavşağa gelen akımlar olabilir. Bu tür, 1.türe göre daha iyi fakat tercih edilmeyen bir durumdur.

3.Tür: Bu tür, tamamen rastgele gelişleri sunmaktadır. Bu tür, yeşil ve kırmızı fazlar boyunca geniş bir şekilde yayılmış taşıt gelişleri meydana geldiği zaman ve/veya kavşak ya izole bir kavşak olduğu için ya da bu yaklaşıma yakın sinyaller farklı devre süreleri ile işletildiği için yaklaşım tamamen diğer sinyallerden bağımsız olduğunda görülmektedir. Bu tür, ortalama bir durumu ifade etmektedir.

4.Tür: Bu durum, yeşil fazın ortasında yoğun olarak gelen akımları ya da yeşil faz boyunca gelen akımları tanımlamaktadır. Bu tür ortalama üzeri bir durumdur.

5.Tür: Yeşil fazın başında kavşağa gelen yoğun bir akımın bulunduğu durumdur. En çok tercih edilen durumdur.

Tablo 4.13 Hizmet Düzeyi Ölçütü [12]

Hizmet Düzeyi	Taşıt Başına Ortalama Durma Gecikmesi (sn)
A	≤5,0
B	5,1–15,0
C	15,1–25,0
D	25,1–40,0
E	40,1–60,0
F	>60,0

- **Her bir kavşak kolu için gecikme ve hizmet düzeyinin bulunması**

Bir kavşak kolu için gecikme değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır. Kavşak kolu için gecikme değerine bağlı olarak hizmet düzeyi Tablo 4.13’den elde edilir.

$$w_A = \frac{\sum_i w_i * q_i}{\sum_i q_i} \quad (4.24)$$

Burada,

w_A : A kavşak kolu için gecikme değeri (sn/tş)

w_i : A kavşak kolundaki şerit grubu için gecikme değeri (sn/tş)

q_i : Şerit grubu için düzeltilmiş akım (tş/sa)

- **Kavşak için gecikme ve hizmet düzeyinin bulunması**

Her bir kavşak kolu için hesaplanan gecikme değerlerinin ağırlıklı ortalaması kavşak gecikmesi değerini verir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır. Bu gecikme değerine göre kavşak hizmet düzeyi Tablo 4.13’den elde edilir.

$$w_I = \frac{\sum_A w_A * q_A}{\sum_A q_A} \quad (4.25)$$

Burada,

w_I : Kavşaktaki her bir taşıt başına ortalama gecikme değeri (sn/taşıt)

q_A : A kavşak kolu için düzeltilmiş akım (taşıt/saat)

4.3 Avustralya Yöntemi

Dr. Rahmi Akçelik tarafından geliştirilen ve Avustralya yöntemi olarak adlandırılan yöntem, ilk olarak 1981 yılında Avustralya Yol Araştırma Kurumu tarafından yayınlanmıştır.

Avustralya yöntemi ile ışıklı kavşaklarda kapasite ve zaman çözümlemesi yapılmaktadır. Bu yöntem ile yapılan hesaplamalarda geleneksel yöntemlerde kullanılan fazlar yerine akımlar tekil olarak dikkate alınmaktadır. Önemli bir değişiklik olarak faz kayıp zamanı yerine, akım kayıp zamanının kullanımı ifade edilebilir [20].

Avustralya yönteminde akımlar ayrı ayrı ele alınmaktadır. Her akım için doygun akım değeri ve akım oranı belirlenerek, doygunluk derecesi hesaplanmaktadır. Doygunluk derecelerine göre kritik akımlar tespit edilmektedir. Bu kritik akımlar hem devre süresi hesabında hem de yeşil süre hesabında kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre ışıklı bir kavşakta bir akımın kapasitesi, kavşağın bu akımın bulunduğu kolundan geçebilecek maksimum hacme yani doygun akıma (s) ve bu akım için etkin olan yeşil sürenin devre süresi içindeki payına (g/D) bağlıdır [17].

Avustralya yöntemine göre kapasite,

$$c = s * \left(\frac{g}{D}\right) \quad (4.26)$$

Burada,

c: Akım kapasitesi (taşıt/saat)

s: Doygun akımı

(g / D): Yeşil süre oranı

Diğer yöntemlerde olduğu gibi Avustralya yönteminde de akım oranı kavramı, akım hacminin doygun akıma oranı olarak tanımlanmıştır ($y = q/s$). Sadece Avustralya yönteminde yer alan bir diğer faydalı akım parametresi ise etkin yeşil sürenin devre süresi oranına eşit olan “yeşil süre oranı”dır.

$$u = \frac{g}{D} \quad (4.27)$$

Akımın kapasiteye oranı olan akım doygunluk derecesini yeşil süre oranı ile de ifade etmek mümkündür. Yani doygunluk derecesi, akım oranının yeşil süre oranına bölünmesi ile de elde edilmektedir.

$$x = \left(\frac{q}{c}\right) \quad (4.28)$$
$$x = \frac{(q * D)}{(s * g)} = \frac{y}{u}$$

Burada,

x: Doygunluk derecesi

q: Akım değeri

s: Doygun akım

g: Etkin yeşil süre

4.3.1. Devre süresi

Devre Süresi optimum devre süresi ve pratik devre süresi olarak iki şekilde hesaplanmaktadır.

4.3.1.1 Optimum devre süresi

Dr. Rahmi Akçelik tarafından geliştirilen optimum devre süresi aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$D_o = \frac{(1,4 + k) * L + 6}{1 - Y} \quad (4.29)$$

Burada,

D_o : Optimum devre süresi (sn)

L: Kavşak kayıp süresi, (\sum Yeşiller arası süre+ \sum başlangıç kaybı- \sum son kazancı), (sn)

Y: Kavşak akım oranı ($\sum y_i$)

k: Park cezası parametresi (minimum yakıt tüketimi için $k=0,4$; gecikme zamanı değerinin dahil olduğu minimum maliyet için $k=0,2$; minimum gecikme değeri için $k=0$ olarak kullanılabilir.)

4.3.1.2 Pratik devre süresi

Belirlenen maksimum kabul edilebilir doygunluk derecesinin altında doygunluk derecesine sahip akımlar için minimum devre süresini veren süreye pratik devre süresi denir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$D_p = \frac{L}{1-U} \quad (4.30)$$

Burada,

D_p : Pratik devre süresi (sn)

L: Kavşak kayıp süresi, (\sum Yeşiller arası süre+ \sum başlangıç kaybı - \sum son kazancı), (sn)

U: Kavşak yeşil süre oranı

4.3.1.3 Devre süresi seçimi

Pratikte D_o ve D_p bağıntıları kullanılarak devre süresi hesabı yapılabilir. Buna rağmen, kullanımda her iki devre süresi hesaplandıktan sonra, D_o ve D_p değerleri arasında uygun bir devre süresinin seçilmesi önerilir. Başka bir kısıtlama da maksimum kabul edilen devre süresidir (D_{max} ; örneğin 120 sn). Bundan dolayı seçilen devre süresi ideal olarak $D \leq D_{max}$ şartını sağlamalıdır.

4.3.2 Yeşil süreler

Seçilen bir devre süresi için yeşil sürelerin hesabı 3 adımda yapılabilmektedir:

- a) Kritik akımların yeşil sürelerinin hesaplanması,

- b) Kritik olmayan akımların yeşil sürelerinin hesaplanması,
- c) Faz yeşil sürelerine karar verilmesi.

Kritik akım araştırma diyagramı kullanılarak hesaplamaların yürütülmesi önerilmektedir. Bu diyagram, özellikle tekrarlı akımların (birbirini takip eden iki ya da daha çok fazlar boyunca geçiş hakkı alan; yeşil süreye sahip olan akımların) bulunduğu durumlarda kritik ile kritik olmayan akımlar arasındaki ilişkiyi ve akımlar ile fazlar arasındaki ilişkiyi yansıtmaya yardımcı olmaktadır.

Bu yöntemde, aşağıda verilen genel akım faz süresi ilişkisi yeşil süre hesabı için formüllerin temelini oluşturmaktadır.

$$\sum (g+l) = \sum_i^{k-1} (G+I) \quad (4.31)$$

Burada,

$\sum(g+l)$: i fazından k-1 fazına kadar geçiş hakkına sahip akımların toplam süresi

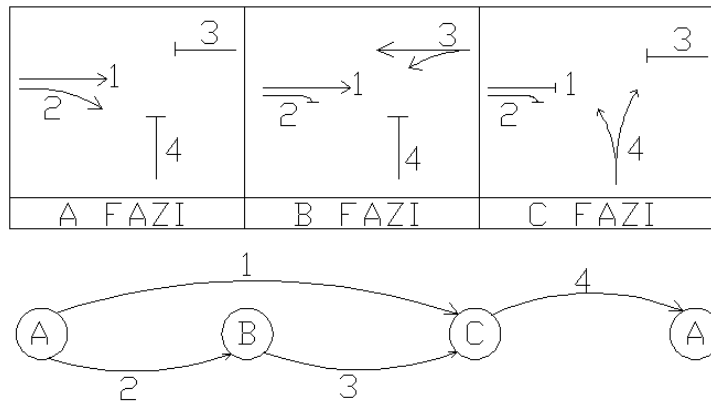
g: Akım yeşil süresi (sn)

l: Kayıp süreler (sn)

G: Faz yeşil süreleri (sn)

I: Yeşiller arası süre (i: başlangıç fazı, k: bitiş fazı)

Örneğin aşağıdaki gibi basit bir tekrarlı akım durumunda akım faz süresi ilişkisi;



Şekil 4.3 Basit Bir Tekrarlı Akım Durumunda Akım Düzeni [17]

A ve B fazları boyunca geçiş hakkı alan yani tekrarlı bir akım olan 1 Akımı için akım faz süresi ilişkisi:

$$g_1 + l_1 = G_A + I_A + G_B + I_B = g_2 + l_2 + g_3 + l_3 \quad (4.32)$$

C fazı boyunca geçiş hakkı alan 4 Akımı için akım faz süresi ilişkisi ise

$$g_4 + l_4 = G_C + I_C \quad (4.33)$$

şeklinde ifade edilebilir.

4.3.2.1 Kritik akım yeşil süreleri

Verilen bir devre süresi için toplam etkin yeşil süre (D-L)'dir. Burada L, kritik akım kayıp sürelerinin toplamıdır. Toplam etkin yeşil süre (g_{etkin}) kritik akımlara aşağıdaki bağıntı yardımıyla dağıtılabilir.

$$g = \left(\frac{D-L}{U}\right) * u \quad (4.34)$$

Burada, u ve U kritik akım ve kavşak yeşil süre oranlarıdır.

4.3.2.2 Kritik olmayan akım yeşil süreleri

Kritik bir akımla aynı fazda geçiş hakkını alan kritik olmayan bir akımın etkin yeşil süresi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$g = (g_c + l_c) - l \quad (4.35)$$

Burada,

g_c : Kritik akım yeşil süresi

l_c : Kritik akım kayıp süresi

l : incelenen akım için kayıp süre

4.3.2.3 Faz yeşil süreleri

Bir fazdaki görünen yeşil süre aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$G=(g + l) - I \quad (4.36)$$

Burada,

(g+l): Yalnızca faz boyunca geçiş hakkını alan bir akıma atanmış süre

I: Yeşiller arası süre

Örneğin,

A Fazı için yeşil süre, $G_A=(g_2 + l_2)-I_A$ şeklinde ifade edilebilir.

4.3.3 Doygun akım hesaplaması

Avustralya yöntemine göre doygun akım değerlerinin hesabı aşağıdaki sıra ile yapılmaktadır.

- Çevre ve şerit türüne göre birimi saatte doğru giden oto olan temel doygun akım değeri Tablo 4.14'den seçilir.
- Temel doygun akım değeri, belirli bir akım için taşıt/saat cinsinden tahmini bir doygun akım elde etmek için, doygun akımı etkileyen çeşitli faktörlere izin vermek için düzeltilir.
- Kavşak kolu doygun akımını elde etmek için şerit doygun akımları toplanır.

Tablo 4.14 Çevre Sınıfı ve Şerit Türüne Bağlı Olarak Temel Doygun Akım Değerleri (s_b) [17]

Çevre Sınıfı	Şerit Türü		
	1	2	3
A	1850	1810	1700
B	1700	1670	1570
C	1580	1550	1270

Tablo 4.14'de yer alan çevre sınıfı ve dönüş türleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- **Çevre sınıfları**

A Sınıfı: Taşıtların serbest hareketi için ideal ve ideale yakın şartlar; iyi görüş açısı, çok az yaya trafiği, nadiren yüklü veya yüksüz eşya taşıtlarının engellemesi ya da park engeli.

B Sınıfı: Ortalama şartlar; yeterli kavşak geometrisi, az yaya trafiği, orta miktarda yüklü veya yüksüz eşya taşıtlarının engellemesi ya da park engeli, bina ve bina türü yapıların otoparklarına giren ve çıkan taşıtlar.

C Sınıfı: Kötü şartlar; çok yaya trafiği, kötü görüş netliği, duran (park halinde) taşıtların ve ticari taşıtların yükleme-boşaltma engeli, taksi, otobüslerin park engeli.

- **Şerit türleri**

Tür 1: Doğru giden şeridi; yalnızca doğru giden taşıtları kapsayan şerittir.

Tür 2: Dönüş şeridi; tüm dönüş trafiği türlerini kapsayan şerittir (özel sol dönüş ya da sağ dönüş şeritleri, sol-sağ dönüşlerin yapıldığı ya da doğru gidenlerin bulunduğu paylaşılan şeritler). Yeterli dönüş yarıçapına ve ihmal edilebilecek kadar az, dönen taşıtlarla çatışan yaya trafiğine sahip şerittir.

Tür 3: Dar dönüş şeridi; tür 2'ye benzer şeritlerdir fakat dönüş yapan taşıtlar küçük dönüş yarıçapına ve bir miktar yaya trafiğine maruz kalmaktadır.

- **Düzeltilme faktörleri**

Tablo 4.14'den alınan temel doygun akım değerleri çeşitli faktörler için düzeltilmelidir. Bu düzeltmeler tüm şeritlere eşit olarak uygulanabilir ise şerit doygun akım değerleri toplanarak kavşak koluna bir bütün olarak uygulanabilir. Yöntem aşağıdaki bağıntı ile özetlenir ise:

$$s = \left(\frac{f_w * f_g}{f_c} \right) * s_b \quad (4.37)$$

Burada,

s: Tahmini doygun akım (taşıt/saat)

s_b: Temel doygun akım (doğru giden oto/saat)

f_w: Şerit genişliği faktörü

f_g: Eğim faktörü

f_c: Trafik kompozisyonu düzeltme faktörü (belirli bir taşıt türü ve dönen trafik için doğru giden oto/taşıt)

- **Şerit genişliği ve eğim**

3,0–3,7m aralığında şerit genişliği için düzeltmeye gerek yoktur. Bu aralığın dışındaki bir şerit genişliği için düzeltme faktörü, f_w, temel doygun akım değerini geniş şeritler için büyötmek, dar şeritler için küçölmek amacıyla aşğıdaki şekilde hesaplanır.

$$f_w = \left\{ \begin{array}{ll} w_a = 3,0 - 3,7m & \rightarrow 1,0 \\ 2,4 \leq w_a < 3,0 & \rightarrow 0,55 + (0,14 * w_a) \\ 4,6 \geq w_a \geq 3,7 & \rightarrow 0,83 + (0,05 * w_a) \end{array} \right\} \quad (4.38)$$

Burada,

w_a: şerit genişliği (m)

Eğim eğimin etkisinin önemli olduğu düşünölüyor ise doygun akım, eğim düzeltme faktörü ile çarpılmalıdır.

$$f_g = 1 \pm 0,5 * \left(\frac{G_r}{100} \right) \quad (4.39)$$

Burada,

G_r: eğim yüzdesidir ve +G_r aşğı eğimi, -G_r yukarı eğimi göstermektedir. Örneğin, %10 yukarı eğim için eğim faktörü 0,95'tir.

- **Trafik kompozisyonu**

Temel doygun akım değeri şerit genişliği ve eğim düzeltmelerinden sonra trafik kompozisyonu faktörü ile düzeltilmektedir. Bu düzeltmeden sonra doygun akım değerinin birimi doğru giden oto'dan taşıt'a dönüşmektedir. Trafik düzenleme faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$f_c = \frac{\sum e_i * q_i}{q} \quad (4.40)$$

Burada,

q_i : Taşıt cinsinden akım

q : Toplam kavşak kolu akımı ($\sum q_i$)

e_i : Taşıtların dönüş türüne göre doğru giden oto eşdeğeri (doğru giden oto/tş)

Bu bağıntıda kullanılan doğru giden oto eşdeğeri (e_i), Tablo 4.15'den alınmaktadır.

Bu veriler Avustralya'daki araştırmalara dayanan ortalama değerlerdir [17].

Tablo 4.15 Farklı Taşıt Türleri ve Dönüşler İçin Doğru Giden Oto Eşdeğeri (e_i ; doğru giden oto/tş) [17]

Taşıt Türü	Doğru Giden	Çatışan Akımsız Dönüş		Çatışan Akımlı Dönüş
		Normal	Kısıtlı	
Otomobil	1	1	1,25	e_o
Ağır taşıt	2	2	2,5	e_o+1

Tablo 4.15'de yer alan taşıt ve dönüş türleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- **Taşıt türü**

İki dingilden fazla ya da arka dingilde çift tekerli taşıtlar ağır taşıt olarak tanımlanmaktadır. Bundan dolayı otobüs, kamyon, römork, römork çeken otomobil ya da karavanlar, traktörler ve diğer yavaş hareket eden taşıtlar ağır taşıt olarak tanımlanmaktadır. Diğer tüm hafif taşıtlar otomobil cinsinden tanımlanmaktadır.

- **Dönüş türü**

Sol ya da sağ dönen trafiğin etkileri, bu trafiğin çatışan akımının olup olmamasına bağlıdır. Çatışan akım, taşıt ya da yaya trafiği olabilir.

a) Çatışan Akımsız Dönüş:

(i) Normal: Sol ve sağ dönen taşıtlar için, dönüş yarıçapının büyük ve çok az yaya trafiğinin olduğu şartlarda geçerlidir.

(ii) Kısıtlı: Sol ve sağ dönen taşıtlar için, dönüş yarıçapının küçük ve az yaya trafiğinin olduğu şartlarda geçerlidir. Dönen taşıtların çok fazla yaya trafiğine maruz kaldığı akımlar çatışan akımlı dönüş olarak alınabilir.

b) Çatışan Akımlı Dönüş: Hafif taşıt (otomobil) için e_0 , ağır taşıt için e_0+1 olan çatışan dönüş eşdeğeri sinyal zamanlaması ve çatışan akımın özelliklerine bağlıdır.

4.3.4 Çatışan akımlı dönüşler

Çatışan akımlı dönüşlerin uygulaması için aşağıda tanımlanan yöntemler, uygun parametre değerleri seçilerek aşağıdaki çatışan akım durumlarının herhangi biri için uygulanabilir:

- a) Çatışan akımdaki taşıtlara yol veren filtre sağ dönenler;
- b) Tek yönlü yaklaşımdan yayalara yol veren sol veya sağ dönenler;
- c) Koruma düzenlemesi ile herhangi bir anda sol dönenler altında yayalara ya da çatışan doğru giden ve sağ dönen akımlardaki taşıtlara yol veren filtre sol dönenler;
- d) Kırmızıda sol dönen kurallarına uygun olarak filtre sol dönenler.

Paylaşılan şerit ve özel şerit durumları için aşağıda tanımlandığı gibi farklı yöntemler kullanılabilir.

4.3.4.1 Paylaşılan şerit

Çatışan akımlı dönen taşıtların, diğer taşıtlarla aynı şeridi paylaştığı durumda, doymun akım değeri aşağıdaki bağıntı ile verilen çatışan dönüş eşdeğeri (e_o) kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$e_o = \frac{0,5 * g}{s_u * g_u + n_f} \quad (4.41)$$

Burada,

g : Çatışan akımlı dönüşlere sahip akım için yeşil süre (sn)

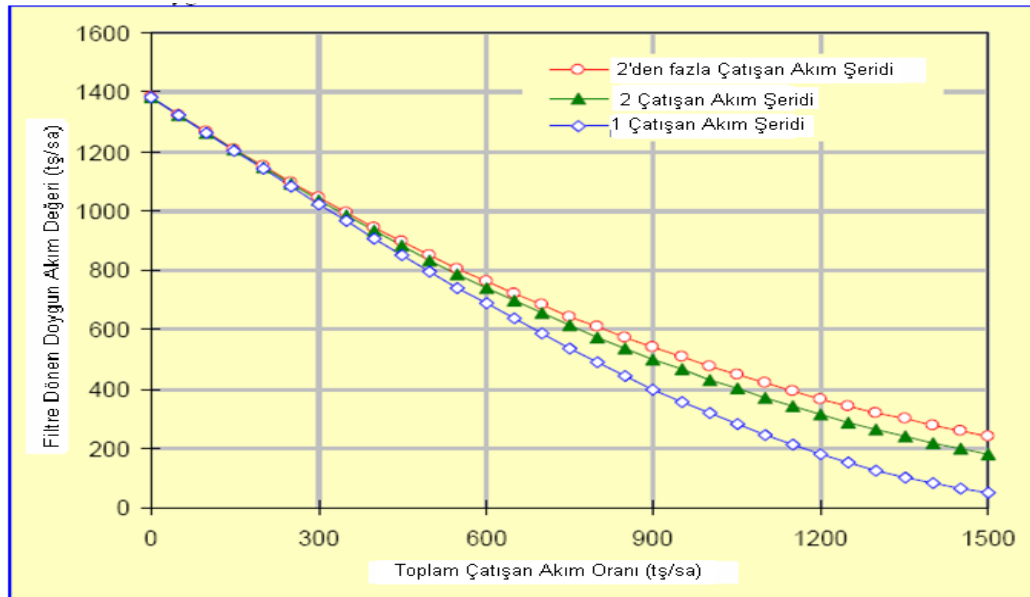
s_u : Çatışan akım değerinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4.3'den okunan çatışan akımlı dönen doymun akım değeri (tş/sn)

g_u : Çatışan akım yeşil süresinin doymun olmayan bölümü

(“ $g_u = (g - y * D) / (1 - y)$ ”, Burada; y ve g çatışan akımlar için akım oranı ile etkin yeşil süre ve D devre süresi)

$s_u * g_u$: her devrede g_u boyunca dönen taşıt sayısı

n_f : her devrede paylaşılan şeridin yeşilinden sonra dönen taşıt sayısı (Eğer saha verilerine ulaşılamıyor ise genel amaçlı bir değer olarak $n_f = 1,5$ kullanılabilir.)



Şekil 4.4 Çatışan Akım Yeşil Süresinin Doymun Olmayan Bölümü Boyunca Çatışan Akımlı Dönenlerin Doymun Akımı [21]

4.3.4.2 Özel şerit

Paylaşılan şerit için tanımlanan yöntem bu durum içinde kullanılabilir. Çatışan dönüş eşdeğeri (e_0) olarak hesaplanan değer, etkin bir çatışan akımlı dönüş doygun akım değerini; " $s_0 = 1800 / e_0$ " bağıntısından hesaplamak için kullanılabilir. Burada, 1800 doğru giden oto/sa birimi cinsinden temel doygun akım değeridir ve s_0 taşıt/saat birimindedir.

4.3.5 Performans ölçütleri

Gecikme ve duruş sayısı iki temel performans ölçütüdür ve bunlardan ikincil ölçütler olan yakıt tüketimi, kirletici sürüm ve maliyet (taşıt işletim maliyeti + zaman değeri) türetilmektedir. Bir taşıt için gecikme, kavşak boyunca kesintisiz ve kesintili trafik zamanları arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Bu gecikmeye, hızlanma ve yavaşlama gecikmesi ile durağan bir kuyrukta motor boşa iken bekleyen taşıtların gecikmesi dâhildir. Her bir geciken taşıtın en az bir kez durduğu düşünülmektedir. Tamamen durmadan yavaşlayan bir taşıt küçük bir gecikmeye maruz kalmaktadır. Kuyruk uzunluğu (kuyruktaki taşıt sayısı)'da temel bir performans ölçütüdür. Bu ölçüt özellikle kuyruk depolama alanının yetersiz olduğu durumlarda önemlidir.

Kapasite (c) ve doygunluk derecesi (x) daha temel performans ölçütleridir. Doygunluk derecesi; gecikme, duruş sayısı ve kuyruk uzunluğundaki değişimi belirlemektedir. Doygunluk derecesi 0,8–0,9'un üzerinde ise kavşak performansı hızlı bir şekilde gerilemektedir. Bundan dolayı doygunluk derecesi, ışıklı kavşağın hizmet düzeyini belirten basit bir gösterge olarak kullanılabilir.

4.3.6 Kuyruk uzunluğu

İzole, sabit zamanlı sinyaller için doygun olmayan akım ($x < 1$) ve aşırı doygun akım ($x > 1$) şartlarında, ortalama kuyruk uzunluğu aşağıdaki bağıntıyla elde edilmektedir.

$$N_o = \left\{ \begin{array}{l} x > x_0 \rightarrow \left(\frac{c * T_f}{4} \right) * \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12 * (x - x_0)}{c * T_f}} \right) \\ x \leq x_0 \rightarrow 0 \end{array} \right\} \quad (4.42)$$

Burada,

N_o : Taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit olduğu durumlarda, tüm şeritlerdeki kuyrukta bekleyen taşıt sayısıdır)

c : Saatlik kapasite [$c=s*(g/D)$]

T_f : Akım periyodu; örneğin, ortalama geliş akım oranının devam ettiği zaman aralığı

$c*T_f$: Akım periyodu aralığında geçen maksimum taşıt sayısı

x : q/c , Doygunluk derecesi

z : $x-1$ (Bu değer, $x < 1$ olduğu zaman negatif değer almaktadır)

x_0 : Doygunluk derecesidir. Bu değer in altında ortalama kuyruk uzunluğu değeri yaklaşık sıfırdır ve “ $x_0=0,67+ (s*g/600)$ ” bağıntısı ile elde edilir. Burada, $s*g$; her devrede taşıt cinsinden kapasitedir (s : doygun akım($t\$/sn$), g : etkin yeşil süre(sn))

Doygunluk derecesini (x), hesaplar ken geliş akımı (q), $t\$/sa$ cinsinden olmalıdır. Buna rağmen akım periyodu (T_f), 1 saat değerinden başka bir değer alabilir. Örneğin, 30 dakikalık pik bir dönem ($T_f=0,5$ sa) boyunca gerçek akım sayımı 450 taşıt ise gecikme, duruş sayısı ve kuyruk uzunluğu bağıntılarında; $q= 450 / 0,5=900$ $t\$/sa$ (ya da $q=900/3600=0,250$ $t\$/sn$) değeri kullanılmalıdır.

4.3.7 Maksimum kuyruk uzunluğu

Maksimum kuyruk uzunluğuna (N_m), yeşil sürenin başlangıcından çok kısa bir süre sonra ulaşılır. Bu kuyruk uzunluğu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$N_m = \frac{q * r}{1 - y} + N_o \quad (4.43)$$

Burada,

r : Etkin kırmızı süre(sn)

q , N_o ve y yukarıda tanımlandığı gibidir.

Maksimum kuyruk uzunluğu, taşıt sürücülerini tarafından kuyruğun algılanan fiziksel bitiş noktasına karşılık gelmektedir. Kuyruğun arkası N_m 'ye kadar artarken, kuyruğun önü ileriye doğru hareket ediyor olacaktır.

4.3.8 Gecikme hesabı

İzole, sabit zamanlı sinyalizasyonda bir akım için toplam gecikme değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$W = \frac{q * D * (1 - u)^2}{2 * (1 - y)} + N_o * x \quad (4.44)$$

Burada,

W: Toplam gecikme (taşıt-saat/saat)

q*D: Her devrede gelen ortalama araç sayısı (q: taşıt/sn cinsinden akım değeri, D: devre süresi, sn)

u: Yeşil süre oranı ($u=g/D$)

y: Akım oranı ($y=q/s$)

N_o : Taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu

Taşıt başına ortalama gecikme için genel bir bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$w = W / q \quad (4.45)$$

Burada,

w: Toplam gecikme (sn/tş)

q: Akım değeri (tş/sn)

4.3.9 Duruş sayısı

Taşıt başına tamamen duruşların ortalama sayısı 'duruş sayısı' olarak adlandırılır. İzole, sabit zamanlı sinyalizasyonda bir akım için duruş sayısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$h = 0,9 * \left(\frac{1-u}{1-y} + \frac{N_o}{q * D} \right) \quad (4.46)$$

Burada,

h: duruş sayısı (duruş/taşıt)

u, y, q*D ve N_o yukarıda gecikme bağıntısında tanımlandığı gibidir.

“0,9” ise kısmi duruşlara (örneğin, tam bir durma yapmayan taşıtların gecikmesi) izin vermek için bir düzeltme katsayılarıdır.

5. SAYIM VE GÖZLEMLER

5.1 Giriş

Belirli bir kavşakta, trafikle ilgili bir konunun incelenmesi amacıyla trafik etüdüleri yapılmaktadır. Trafik etüdüleri esas itibarıyla sayım ve gözlemlere dayanır. Gerekli bilgiler sayımlarla ve gözlemlerle toplandıktan sonra etüdün yapılması önemli derecede basitleşmiş olur. Trafik sayımları ve gözlemleri ile ilgili tanımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [1, 22]:

a) Trafik ünitesi: Trafiğe katılan; yayalar, otomobiller, otobüsler, tramvaylar, hafif ve ağır kamyonlar, römorklu vasıtalar, bisikletler, motosikletler, arabalar, v.b. elemanlardan her biri bir trafik ünitesi kabul edilir.

b) Trafik sayımı: Belli bir zaman içinde trafik ünitelerinin sayılarak kaydedilmesine trafik sayımları denir. Trafik Sayımları, bir kesitte durarak ya da bir vasıta içinde, hareket halinde de yapılabilmektedir.

c) Sayım memuru: Sayım istasyonlarında durmak veya hareketli sayım istasyonlarında hareket etmek suretiyle, trafik sayımlarını yapmakla görevlendirilen elemanlara sayım memuru denir. Bir sayım memurunda sayım esnasında, saat veya kronometre, sayım föyleri, kalem v.b. malzemeler bulunmalıdır.

e) Sayım zamanı ve süresi: Sayımların normal havalarda ve iş günlerinde yapılması uygundur. Fakat özel nedenlerle, cumartesi, pazar, bayram ve tatil günlerinde, kötü havalarda da sayım yapılabilir. Sayım süresi 1-24 saat arasında alınabilir. Ancak, özel trafik etüdüleri ve sondaj sayımlarında daha kısa süre alınabilir. Sayımın süresi etüdün maksadına göre tecrübeli kimseler tarafından tayin edilmelidir. Genel trafik etüdülerinde, 8–12–24 saat sayım süresi olarak kabul edilir. Örneğin, Sabah 07.00'den akşam 19.00'a kadar yapılacak 12 saatlik sayımlar birçok amaçlar için yeterli olabilir. Yaya sayımlarında, 6 saat süre uygundur. Araç ve yaya

trafiğinin her ikisi içinde mümkün olduğu kadar, sayım süresi ve başlangıç saati maksimum trafik saatlerini kapsayacak şekilde seçilir.

f) Sayım föyleri ve tabloları: Yapılacak etüdün tip ve amacına göre değişmekle birlikte; bütün sayımlarda, önceden hazırlanmış ve basılmış sayım föyleri ve tabloları kullanılır. Bunlar,

- **İzahat föyü:** Bu föyler; krokili ve izahatlı olarak basılmış olup, üzerinde sayım memurunun uyması gereken talimatlar ve gerekli açıklamalar okunacak şekilde yazılan föylerdir. Ayrıca, yanlışlıkları önlemek için bu föylere sokak isimleri ve yönler işaretlenir. Föyler, sayım yapılacak istasyon, sayılacak trafik üniteleri ve trafik akımları, sayım gün ve saatleri, föy değiştirme zamanı ve diğer gerekli bilgileri içermektedir.
- **Sayım föyü:** Sayım memurları tarafından doldurulacak olan föylerdir. Toplam sayım süresi ne olursa olsun, föy değişim zamanının 30 dk veya 1 saatten fazla alınması uygun değildir.
- **Sayım toplama tabloları:** Kısa zamana ait föylerdeki neticeleri tablo halinde toplamak ve göstermek için sayım toplama tabloları kullanılır.
- **Sayım grafik ve haritaları:** Sayım tablolarındaki verileri daha açık ve anlaşılır bir şekilde ifade etmek için sayım grafik ve haritaları hazırlanır. Sayımlar el ile ya da otomatik sayaçlarla yapılmaktadır.

5.2 Yapılan Gözlem ve Etüdlar

Bu çalışmada Şekil 5.1 ve 5.2'de fotoğraf ve planı bulunan Adnan Kahveci ışıklı kavşağı incelenmiştir. Bu kavşak sabit zamanlı, 60 sn devre süreli, 2 fazlı, 4 kollu, yuvarlak adalı bir kavşaktır. Bütün caddeler her bir yönde 3 şeride sahiptir. Sinyalizasyon ve kapasite çözümlene yöntemlerinin hepsinde kullanılan temel parametre trafik hacim (akım) değeridir. Trafik hacim değerleri 22.11.2007,

Perşembe günü Saat: 08.00–09.00 arasında kamera ile yapılan çekimler sonucunda elde edilmiştir. Her bir yaklaşım kolundaki hacim sayımı 60 dakika sürmüştür. Ayrıca her bir yaklaşımda sol dönen, doğru giden ve sağ dönen hacim değerleri ile ağır taşıt oranları da gözlemlenmiştir. Hacim sayımlarında hacim sayım föyleri ve kronometre kullanılmıştır. Yapılan sayımlar sonucunda Adnan Kahveci Kavşağı için bulunan saatlik hacim değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Bu çalışmada sahadan gözlenen bir diğer veri ise gecikme ve kuyruk uzunluğu ölçümüdür. Sahada gecikme ölçümü aşağıda takip eden sıra ile yapılmıştır.

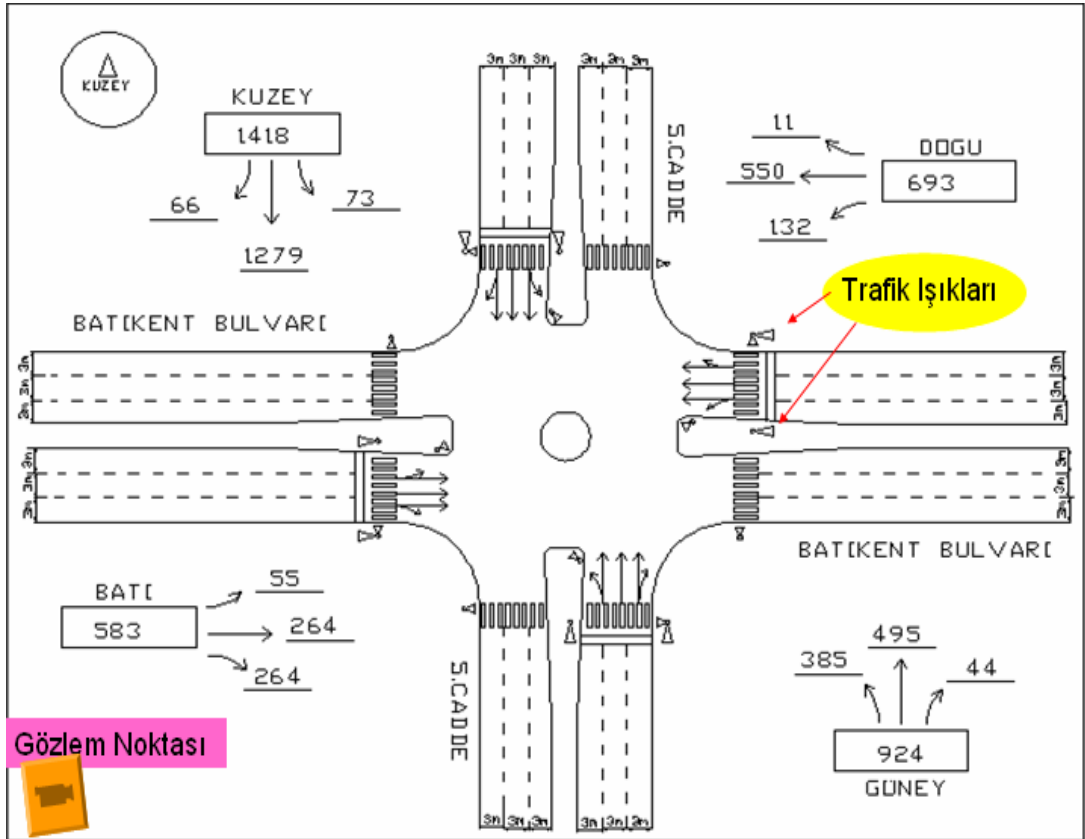
- Gecikme değeri, kavşağa gelerek duran taşıtların kavşağı boşaltma zamanı olarak ölçülmüştür.
- Her bir kavşak kolu için 30 ölçümün ortalaması kavşak gecikme değeri olarak alınmıştır.
- Taşıtların beklemeden kavşağı boşaltma zamanı ölçülmüş ve kavşak gecikme değeri ile farkı taşıt başına ortalama gecikme değeri olarak bulunmuştur.

Sahada kuyruk uzunluğu her bir devrede kuyrukta bekleyen taşıt sayısı olarak ölçülmüştür. Yapılan gözlemler sonucunda Adnan Kahveci Kavşağı için bulunan taşıt başına ortalama gecikme ve kuyruk uzunluğu değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Amaç süregelen talep hacimleri için var olan kavşağın kapasitesi ve hizmet düzeyini belirlemek ve geçerli durum kabul edilebilir bir nedenle süregelen trafiği yönetemiyor ise sinyal ve/veya geometrik tasarım değişimlerini önermektir.



Şekil 5.1 Adnan Kahveci Kavşağı



Şekil 5.2 Adnan Kahveci Kavşağı Planı

Tablo 5.1 Adnan Kahveci Kavşağı
Saatlik Hacim Değerleri

Kavşak Kolu	Akım Yönü	Hacim Değeri (taşıt/saat)
Batı	Sol dönen	55
	Doğru giden	264
	Sağ dönen	264
Doğu	Sol dönen	132
	Doğru giden	550
	Sağ dönen	11
Güney	Sol dönen	385
	Doğru giden	495
	Sağ dönen	44
Kuzey	Sol dönen	73
	Doğru giden	1279
	Sağ dönen	66

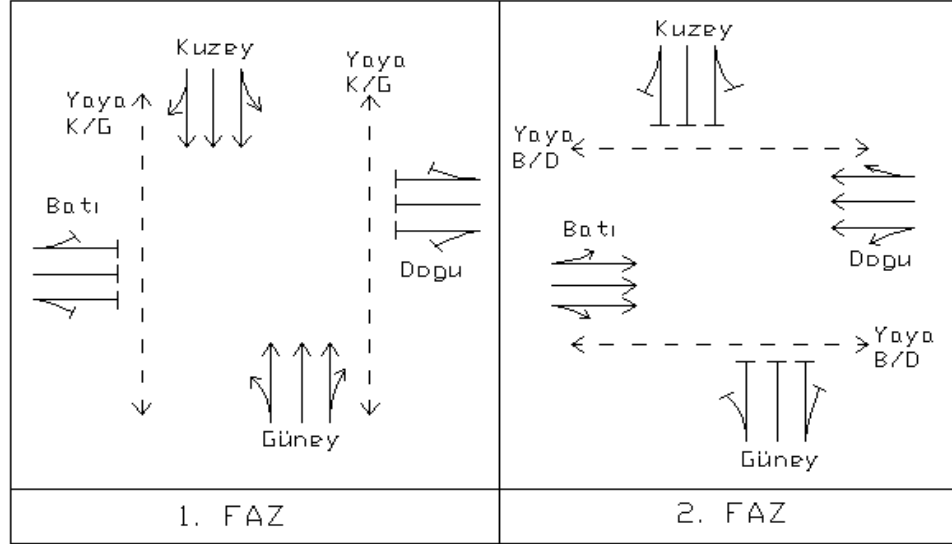
Tablo 5.2 Adnan Kahveci Kavşağı Gecikme ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri

Kavşak Kolu	Taşıtların Kavşağı Boşaltma Zamanı (sn)	Tış.ın Beklemeden Kavşağı Boşaltma Zamanı (sn)	Taşıt Başına Ort. Gecikme (tş/sn)	Kuyruk Uzunluğu (taşıt/devre)
Batı	32,70	6,48	26,22	4
Doğu	38,83	6,67	32,16	9
Güney	25,31	6,59	18,72	7
Kuzey	25,00	6,93	18,07	4

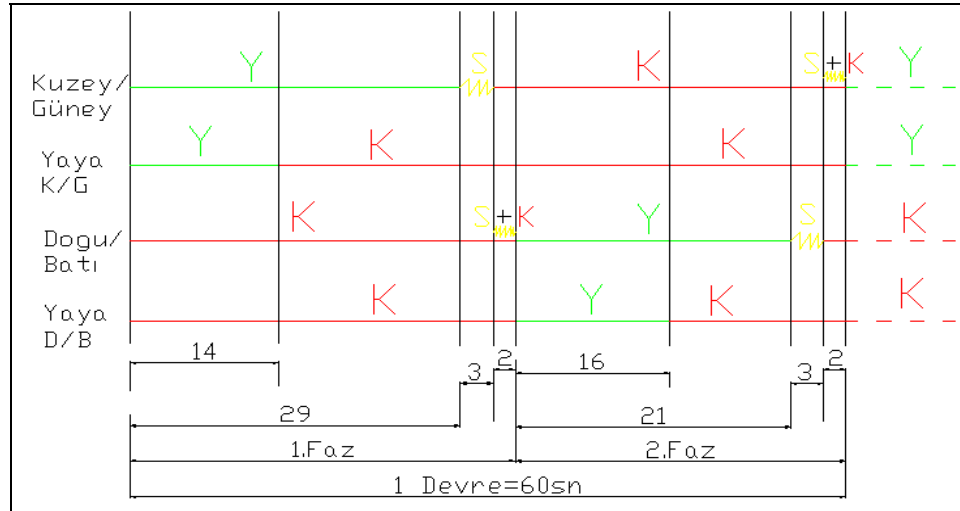
Kavşağın tüm kolları aynı eğimde değildir. 5.Cadde-Kuzey kolu % 4 iniş eğiminde ve Batıkent Bulvarı-Doğu kolu % 3 iniş eğimine sahiptir. 5.Cadde-Güney ve Batıkent Bulvarı-Batı kollarında eğim sıfırdır. Trafik, Batıkent Bulvarı-Batı kolunda % 26, Batıkent Bulvarı-Doğu kolunda % 5, 5.Cadde-Güney kolunda % 11 ve 5.Cadde-Kuzey kolunda ise % 4 ağır taşıt oranına sahiptir. Kavşak kollarının hiçbirinde otobüs ve park şeridi bulunmamaktadır. Yaya hacimleri, tüm yaya geçitlerinde 50 yaya/saat değerinden daha az gözlemlendiğinden, minimum değer olan 50 yaya/saat alınmıştır ve tüm Kavşak kolları için pik saat faktörü 1,0'dır.

Sinyal zamanlamasında uygulanan yaya süreleri, Batıkent Bulvarı için 16 sn ve 5.Cadde için 14 sn'dir. İki fazlı planda, 60 sn devre süresince 5.Cadde-Güney ile 5.Cadde-Kuzey 29 sn yeşil süre ve Batıkent Bulvarı-Batı ile Batıkent Bulvarı-Doğu kolları 21 sn yeşil süre almaktadır.

Yeşil süreden sonra uygulanan sarı süre (a) 3 sn, yeşil süreden önce uygulanan sarı + kırmızı süre ise 2 sn'dir. Adnan Kahveci Kavşağı'nda uygulanan akım düzeni ve devre düzeni Şekil 5.3 ve 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.3 Adnan Kahveci Kavşağı Akım Düzeni



Şekil 5.4 Adnan Kahveci Kavşağı Devre Düzeni

6. ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI

Hesaplamalar için saha gözlemlerinden elde edilen trafik akım değerleri kullanılarak; ışıklı kavşakların kapasite çözümü yöntemlerinden, Webster (İngiliz) Yöntemi, Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi (HCM: Highway Capacity Manual, 1985), Avustralya Yöntemi ve Sidra Intersection 3.2 Programı ile çözümü yapılmıştır. Kapasite çözümü yapılan yöntemler neticesinde kavşağın kollarına ait aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- Doygun akım değeri
- Akım oranları (Akım / Doygun Akım)
- Her bir kavşak koluna ait kapasite değeri
- Her bir kavşak koluna ait gecikme değeri
- Hizmet düzeyi

Kapasite ve gecikme değeri ile hizmet düzeyi,

- Sahada uygulanan devre süresi ve yeşil süreler ile
- Yöntemler ile hesaplanan devre süresi ve yeşil sürelerle göre elde edilmiştir.

6.1 Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

6.1.1 Webster (İngiliz) yöntemi

Webster (İngiliz) yöntemi ile uygulanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.1’de gösterilmiştir. Bu tabloda verilen kavşak kollarına göre düzeltilmiş akım, düzeltilmiş doygun akım, akım oranları, kapasite ve gecikme değerleri 4.Bölüm başlığı altında bahsedildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6.1’den görüldüğü üzere, batı koluna ait toplam kapasite değeri ($1008 + 567 = 1575$ tş/sa), diğer kolların kapasitelerine göre en düşük değeri vermektedir. Gecikme değeri için ise güney kolu (12,13 sn/tş) en düşük değeri vermektedir.

Tablo 6.1 Webster Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Düzeltilmiş Akım (tş/sa)	Devre Süresi D = 60 sn, uygulanan				
			Düzeltilmiş Doygun Akım	Akım Oranları	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	Gecikme Değeri (sn/tş)
WEBSTER YÖNTEMİ	BATI (sol+doğru)	402	2880	0,140	21	1008	15,90
	BATI (sağ)	333	1620	0,206	21	567	
	DOĞU (sol)	139	1766	0,079	21	618	15,44
	DOĞU (doğru+sağ)	590	3139	0,188	21	1098	
	GÜNEY (sol)	427	1620	0,264	29	782	12,13
	GÜNEY (doğru+sağ)	598	2880	0,208	29	1391	
	KUZEY (sol+doğru+sağ)	1473	4838	0,305	29	2337	12,49

6.1.2 Yolların kapasitesi el kitabı yöntemi (HCM 1985)

HCM 1985 yöntemi ile uygulanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.2’de gösterilmiştir. Buna göre, bu yöntemde de batı koluna ait kapasite değeri (1266 teş/sa), diğer kolların kapasitelerine göre en düşük değeri ve gecikme değeri (8,47 sn/tş) için de güney kolu en düşük değeri vermektedir. Elde edilen gecikme değerlerine göre, HCM 1985 yönteminde tanımlanan hizmet düzeyleri tüm kavşak kolları için “B” elde edilmiştir.

Tablo 6.2 HCM 1985 Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Düzeltilmiş Akım (tş/sa)	Devre Süresi D = 60 sn, uygulanan					
			Düzeltilmiş Doygun Akım	Akım Oranları	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	Gecikme Değeri (sn/tş)	Hizmet Düzeyi
HCM 1985 YÖNTEMİ	BATI (sol+doğru+sağ)	641	3618	0,177	21	1266	12,00	B
	DOĞU (sol)	132	1566	0,084	21	548	11,98	B
	DOĞU (doğru+sağ)	589	3122	0,187	21	1093		
	GÜNEY (sol)	385	1378	0,279	29	666	8,47	B
	GÜNEY (doğru+sağ)	566	2717	0,208	29	1312		
	KUZEY (sol+doğru+sağ)	1560	4303	0,363	29	2078	10,66	B

6.1.3 Avustralya yöntemi

Avustralya yöntemi ile uygulanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.3'de gösterilmiştir. Buna göre, güney koluna ait kapasite değeri (975 tş/sa), diğer kolların kapasitelerine göre en düşük değeri vermektedir. Gecikme değeri (11,60 sn/tş) için ise kuzey kolu en düşük değeri vermektedir. Ayrıca, maksimum gecikme değerini (35,68 sn/tş) güney kolu vermektedir.

Tablo 6.3 Avustralya Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Düzeltilmiş Akım (tş/sa)	Devre Süresi D = 60 sn, uygulanan				
			Düzeltilmiş Doygun Akım	Akım Oranları	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	Gecikme Değeri (sn/tş)
AVUSTRALYA YÖNTEMİ	BATI (sol+doğru+sağ)	583	3852	0,151	21	1348	15,37
	DOĞU (sol+doğru+sağ)	694	4597	0,151	21	1609	15,54
	GÜNEY (sol+doğru+sağ)	924	2018	0,457	29	975	35,68
	KUZEY (sol+doğru+sağ)	1418	4757	0,300	29	2299	11,60

Avustralya yöntemi ile sinyalizasyon hesapları için performans ölçütlerinden gecikme değerinin yanında ayrıca duruş sayısı ve kuyruk uzunluğu değerleri de hesaplanmıştır. Kavşak kollarına ait duruş sayısı ve kuyruk uzunluğu değerleri Tablo 6.4'de gösterilmiştir. Bu değerlerden anlaşıldığı üzere güney kolu için gecikme değerinde olduğu gibi duruş sayısı ve kuyruk uzunluğu da maksimum değerdedir. Güney kolu için bu üç değer maksimum olması, bu kolda sol dönen taşıt hacminin çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır (Bkz. Tablo 5.1).

Tablo 6.4 Avustralya Yöntemi İle Uygulanan Devre Süresi İçin Bulunan Duruş Sayısı ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri

Kavşak Kolu	Duruş Sayısı (duruş / taşıt)	Kuyruk Uzunluğu (taşıt)
Batı	0,68	6
Doğu	0,70	9
Güney	1,20	20
Kuzey	0,52	17

6.1.4 Sidra Intersection 3.2 programı

Sidra Intersection 3.2, Avustralya yöntemine dayanan ve Dr. Rahmi Akçelik tarafından hazırlanan bir bilgisayar programıdır. Sidra Intersection 3.2 programı, ışıklı kavşakların tasarımı ve değerlendirilmesi amacıyla oluşturulmuştur. 1984'deki ilk kullanımından bu yana çok hızlı şekilde tanınarak en yaygın kullanılan paket yazılımı olmuştur [21].

Sidra Intersection 3.2 programı ile gecikme değerinin yanında duruş sayısı ve kuyruk uzunluğu değerleri de hesaplanmıştır. Sidra ile uygulanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.5'de gösterilmiştir.

Tablo 6.5 Sidra Intersection 3.2 Programı İle Uygulanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Devre Süresi D = 60 sn, uygulanan					
		Duruş Sayısı (duruş/taşıt)	Kuyruk Uzunluğu (taşıt)	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	Gecikme Değeri (sn/tş)	Hizmet Düzeyi
SIDRA INTERSECTION 3.2	BATI (sol+doğru+sağ)	0,72	6	21	1776	20,50	C
	DOĞU (sol+doğru+sağ)	0,70	7	21	1607	18,70	B
	GÜNEY (sol+doğru+sağ)	0,65	7	29	2633	13,80	B
	KUZUY (sol+doğru+sağ)	0,66	11	29	2636	12,20	B

Tablo 6.5 incelendiğinde, en düşük kapasite değerini doğu kolunun (1607 teş/sa), verdiği anlaşılmaktadır. Gecikme değeri (12,20 sn/tş) için ise kuzey kolu en düşük değeri vermektedir. Program, maksimum gecikme değerini (20,50 sn/tş) batı kolu için vermektedir ve bu kola ait hizmet düzeyi C'dir. Güney ve kuzey kolları için duruş sayısı birbirine çok yakın ve en düşük değerleri vermektedir. Kuzey kolu maksimum kuyruk uzunluğuna sahiptir.

6.2 Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

Kapasite çözümleme yöntemlerine göre hesaplanan devre süresi 4. Bölüm başlığı altında bahsedildiği gibi hesaplanmıştır. Tüm yöntemler için hesaplanan değerlere

göre seçilen devre süresi 50 sn'dir. Sidra Intersection 3.2 programı ise optimum devre süresi olarak 52 sn vermektedir.

6.2.1 Webster (İngiliz) yöntemi

Webster (İngiliz) yöntemi ile hesaplanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.6'de gösterilmiştir. Buna göre, batı koluna ait toplam kapasite değeri (922 + 518 = 1440 tş/sa), diğer kavşak kolu kapasitelerine göre en düşük değeri vermektedir. Gecikme değeri (10,29 sn/tş) için ise güney kolu en düşük değeri vermektedir.

Tablo 6.6 Webster Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Düzeltilmiş Akım (tş/sa)	Devre süresi, D hesaplanan					Gecikme Değeri (sn/tş)
			Düzeltilmiş Doygun Akım	Akım Oranları	Devre Süresi (sn)	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	
WEBSTER YÖNTEMİ	BATI (sol+doğru)	402	2880	0,140	50	16	922	14,50
	BATI (sağ)	333	1620	0,206	50	16	518	
	DOĞU (sol)	139	1766	0,079	50	16	565	14,04
	DOĞU (doğru+sağ)	590	3139	0,188	50	16	1005	
	GÜNEY (sol)	427	1620	0,264	50	24	778	10,29
	GÜNEY (doğru+sağ)	598	2880	0,208	50	24	1382	
	KUZEY (sol+doğru+sağ)	1473	4838	0,305	50	24	2322	10,65

6.2.2 Yolların kapasitesi el kitabı yöntemi (HCM 1985)

HCM 1985 yöntemi ile hesaplanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.7'de gösterilmiştir. Tablo 6.7'den görüldüğü üzere, batı koluna ait toplam kapasite değeri (1209 tş/sa), diğer kavşak kolu kapasitelerine göre en düşük değeri vermektedir. Gecikme değeri (10,22 sn/tş) için ise güney kolu en düşük değeri vermektedir ve hizmet düzeyi "B" dir. En fazla gecikme değerine sahip kuzey kolu (34,20 sn/tş) için "D" hizmet düzeyi elde edilmiştir.

Tablo 6.7 HCM 1985 Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Düzeltilmiş Akım (tş/sa)	Devre süresi, D hesaplanan						
			Düzeltilmiş Doygun Akım	Akım Oranları	Devre Süresi (sn)	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	Gecikme Değeri (sn/tş)	Hizmet Düzeyi
HCM 1985 YÖNTEMİ	BATI (sol+doğru+sağ)	641	3777	0,170	50	16	1209	18,11	C
	DOĞU (sol)	132	1560	0,085	50	16	499	20,00	C
	DOĞU (doğru+sağ)	589	3112	0,189	50	16	996		
	GÜNEY (sol)	385	1810	0,213	50	24	869	10,22	B
	GÜNEY (doğru+sağ)	566	2727	0,208	50	24	1309		
	KUZEY (sol+doğru+sağ)	1560	4448	0,351	50	24	2135	34,20	D

6.2.3 Avustralya yöntemi

Avustralya yöntemi ile hesaplanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.8'de gösterilmiştir.

Tablo 6.8 incelendiğinde, en düşük kapasite değerini (1120 teş/sa), güney kolu verdiği anlaşılmaktadır. Gecikme değeri için en düşük değeri kuzey kolu vermektedir.

Tablo 6.8 Avustralya Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Düzeltilmiş Akım (tş/sa)	Devre süresi, D hesaplanan					
			Düzeltilmiş Doygun Akım	Akım Oranları	Devre Süresi (sn)	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	Gecikme Değeri (sn/tş)
AVUSTRALYA YÖNTEMİ	BATI (sol+doğru+sağ)	583	3993	0,146	50	16	1250	13,58
	DOĞU (sol+doğru+sağ)	694	4757	0,146	50	16	1496	13,63
	GÜNEY (sol+doğru+sağ)	924	2358	0,392	50	26	1120	13,58
	KUZEY (sol+doğru+sağ)	1418	4841	0,293	50	26	2495	8,18

Tablo 6.9 Avustralya Yöntemi İle Hesaplanan Devre Süresi İçin Bulunan Duruş Sayısı ve Kuyruk Uzunluğu Değerleri

Kavşak Kolu	Duruş Sayısı (duruş / taşıt)	Kuyruk Uzunluğu (taşıt)
Batı	0,72	5
Doğu	0,72	8
Güney	0,83	13
Kuzey	0,61	13

6.2.4 Sidra Intersection 3.2 programı

Sidra Intersection 3.2 programı ile hesaplanan devre süresine göre çözümleme sonuçları Tablo 6.10’da gösterilmiştir.

Tablo 6.10 Sidra Intersection 3.2 Programı İle Hesaplanan Devre Süresine Göre Çözümleme Sonuçları

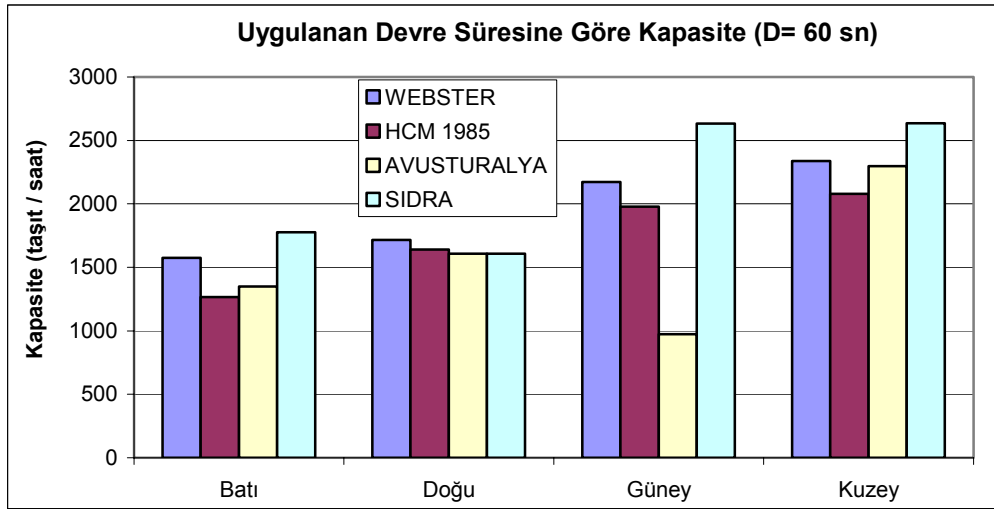
YÖNTEM	KAVŞAK KOLU	Devre Süresi D = 52 sn, hesaplanan					
		Duruş Sayısı (duruş / taşıt)	Kuyruk Uzunluğu (taşıt)	Yeşil Süre (sn)	Kapasite (tş/sa)	Gecikme Değeri (sn/tş)	Hizmet Düzeyi
SIDRA INTERSECTION 3.2	BATI (sol+doğru+sağ)	0,71	5	21	2049	16,20	B
	DOĞU (sol+doğru+sağ)	0,73	6	21	1877	14,00	B
	GÜNEY (sol+doğru+sağ)	0,74	7	21	2238	15,50	B
	KUZHEY (sol+doğru+sağ)	0,81	11	21	2232	14,10	B

Tablo 6.10 incelendiğinde, doğu koluna ait kapasite değeri (1877 teş/sa), diğer kavşak kolu kapasitelerine göre en düşük değeri vermesine karşın bu kol için gecikme değeri (14,00 sn/tş) en düşük değeri vermektedir. Program, maksimum gecikme değerini (16,20 sn/tş) batı kolu için vermektedir. Tüm kavşak kollarına ait duruş sayısı birbirine yakın değerler vermektedir. Kuyruk uzunluğu ise kuzey kolu için maksimum değerdedir. Kuyruk uzunluğu uygulanan ve hesaplanan devre süresi için güney ve kuzey kollarında değişmemektedir, batı ve doğu kolları için ise aynı birimde düşmektedir.

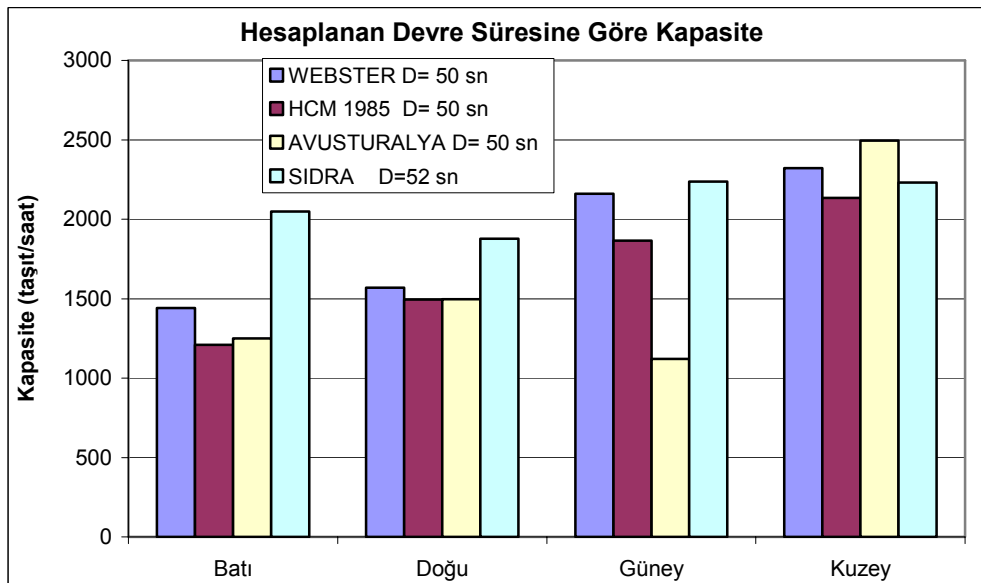
7. SONUÇLAR

Bu çalışmada kapasite çözümleme yöntemleri ile elde edilen kavşak kollarına ait kapasite ve gecikme değerleri uygulanan devre sürelerine göre Şekil 7.1 ve 7.3'de; hesaplanan devre sürelerine göre ise Şekil 7.2 ve 7.4'de verilmiştir.

Şekil 7.1 Uygulanan Devre Süresine Göre Tüm Kavşak Kollarına Ait Kapasite Değerleri

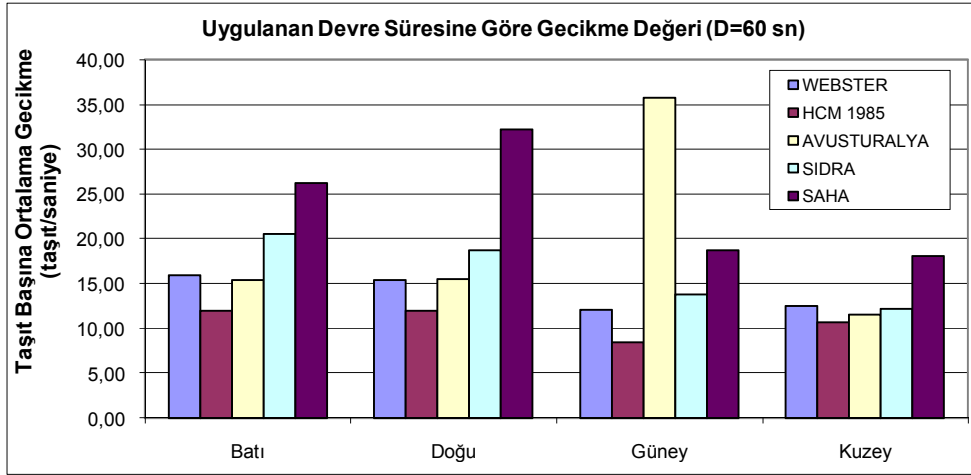


Şekil 7.2 Hesaplanan Devre Süresine Göre Tüm Kavşak Kollarına Ait Kapasite Değerleri

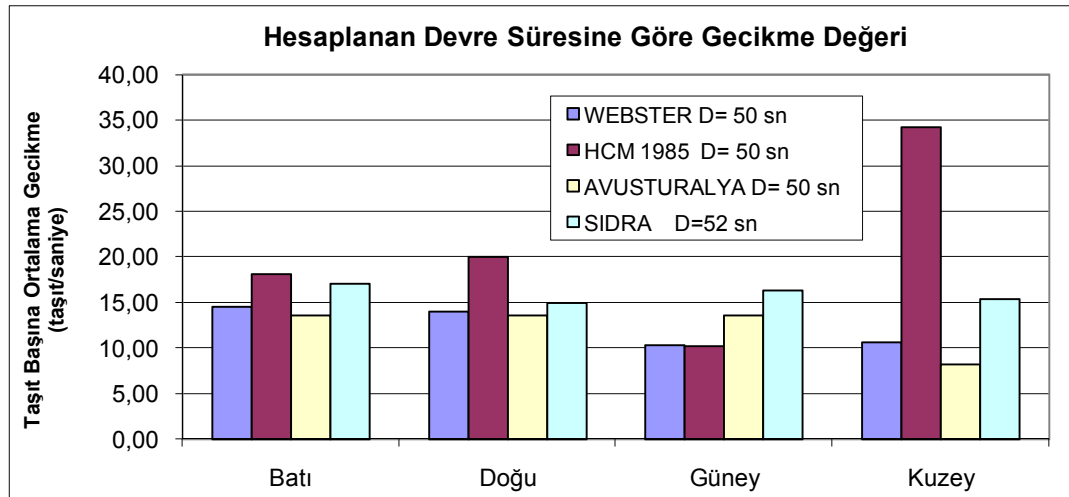


- Uygulanan ve hesaplanan devre süresine göre güney kolu için Avustralya yöntemi en düşük kapasite değerini vermiştir.
- Hesaplanan devre süresinde, batı ve doğu kolları için kapasite değerleri uygulanan devre süresine göre Sidra hariç diğer yöntemlerde daha düşük değerler vermiştir.
- Kuzey kolu için kapasite değerleri uygulanan devre süresine göre hesaplanan devre süresinde, Sidra hariç diğer yöntemlerde daha yüksek değerler vermiştir.

Şekil 7.3 Uygulanan Devre Süresine Göre Tüm Kavşak Kollarına Ait Gecikme Değerleri



Şekil 7.4 Hesaplanan Devre Süresine Göre Tüm Kavşak Kollarına Ait Gecikme Değerleri



- Uygulanan devre süresine göre saha verilerine yakın sonuçlar Sidra ile elde edilmiştir.
- Uygulanan devre süresi ile karşılaştırıldığı zaman hesaplanan devre süresi için tüm kavşak kollarında HCM yöntemi fazla gecikme değeri vermiştir. Bu yöntem, mevcut devre süresine göre tüm kavşak kollarının hizmet düzeyini “B” olarak vermiştir. Yöntem ile atanan devre süresine göre batı ve doğu kolları “C”, kuzey kolu “D” hizmet düzeyi vermektedir.
- Webster ve Avustralya yöntemlerinde mevcut uygulanan devre süresine göre 50 sn olarak hesaplanan devre süresi için tüm kavşak kollarında gecikme sürelerinde azalma olmaktadır.
- Sidra ise hesaplanan devre süresi için güney ve kuzey kollarında ilk duruma göre daha fazla gecikme değeri vermiştir.
- Sidra programı ile uygulanan devre süresine göre elde edilen hizmet düzeyleri, yalnızca batı kolu için “C” düzeyindedir. Diğer kavşak kolları için ise “B” hizmet düzeyi elde edilmiştir. Hesaplanan devre süresine göre tüm kavşak kolları için “B” hizmet düzeyi elde edilmiştir.
- Sahadan gözlenen değerler ile Avustralya yöntemi ve Sidra programından elde edilen kuyruk uzunluğu değerleri incelendiğinde; hem Avustralya yöntemi hem de Sidra programı hesaplanan devre süresi için saha verilerine daha yakın değerler elde edilmiştir.
- İncelenen bu kavşakta mevcut sinyalizasyonda uygulanan 60 sn devre süresi yerine hesaplama yöntemleri ile 50 sn ve program ile 52 sn bulunan devre süresinin uygulanması durumunda taşıtların maruz kalacağı gecikme değerinin daha az olacağı yöntemlerin çoğu ile bulunmuştur. Ayrıca, Sidra programı hesaplama kolaylığı bakımından diğer yöntemlere göre kullanımı daha pratiktir. Bu program yardımıyla yapılan tahminlerin, gözlemlere oldukça yaklaştığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kutlu, K.**, 1993. Trafik Tekniği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Yayla, N.**, 2002. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [3] **Akad, M.**, 1998. Eşdüzeı Kavşakların Kapasite Analiz Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ İstanbul.*
- [4] **Gedizlioğlu, E.**, 2007. Trafik Yönetimi Ders Notları, İTÜ İstanbul.
- [5] **Umar, F. ve Yayla, N.**, 1997. Yol İnşaatı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [6] _____, 2004. Trafik Kaza İstatistikleri (Karayolu) T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu.
- [7] _____, 2004. Trafik İşaretleri El Kitabı I, TCK, Bakım Dairesi Başkanlığı, Trafik Şube Müdürlüğü.
- [8] _____, 2000. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Academies Washington D.C.
- [9] **Murat, Y.Ş., Gedizlioğlu, E.**, 2003. Ayrık Sinyalize Kavşaklar için Bulanık Mantık Denetim Modeli, İMO Teknik Dergi, 2003 2949-2963, Yazı 196, İstanbul.
- [10] **Akçelik, R.**, 2004. Glossary of Road Traffic Analysis Terms, Akcelik&Associates Pty Ltd, Australia.
- [11] **Webster, F.V. and Cobbe, B.M.**, 1966. Traffic Signals, Road Research Technical Paper No.56, HMSO London.
- [12] _____, 1985. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Special Report 209, National Research Council Washington D.C.
- [13] **Homburger, S.W. and James H.K.**, 1981. Fundamental of Traffic Engineering, University of California.
- [14] **Woods, K.B., Berry, D.S., Goetz, W.H.**, 1960. Highway Engineering Handbook, McGraw-Hill Book Company, Inc, Newyork, London, Toronto.
- [15] **May, A.D., Gedizlioğlu, E., Tai, L.**, 1983. Comparative Analysis of Signalized Intersection Capacity Methods, Transportation Research Board. No: 905 Washington D.C.

- [16] **Cartagena, R.I.P., Tarko, A.P.**, 2005. Calibration of Capacity Parameters for Signalized Intersections in Indiana, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Volume **131**, Number 12.
- [17] **Akçelik, R.**, 1993. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Australian Road Research Board, Research Report ARR No.123.
- [18] **Ayfer, M.Ö.**, 1977. Trafik Sinyalizasyonu, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayın No:226, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası Ankara.
- [19] **Mousa, R.M.**, 2002. Analysis and Modelling of Measured Delays at Isolated Signalized Intersections, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Volume 128, Number 4.
- [20] **Murat, Y.Ş.**, 1998. Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımının İncelenmesi, **4.Ulaştırma Kongresi, Bildiriler Kitabı I**, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Denizli.
- [21] **Akçelik, R.**, 2007. Sidra Solution, Sidra Intersection 3.2 User Guide, Akcelik&Associates Pty Ltd, Australia.
- [22] **Gedizlioğlu, E.**, 2006. Trafik Tekniği Etüdları Ders Notları, İTÜ İstanbul.

EKLER

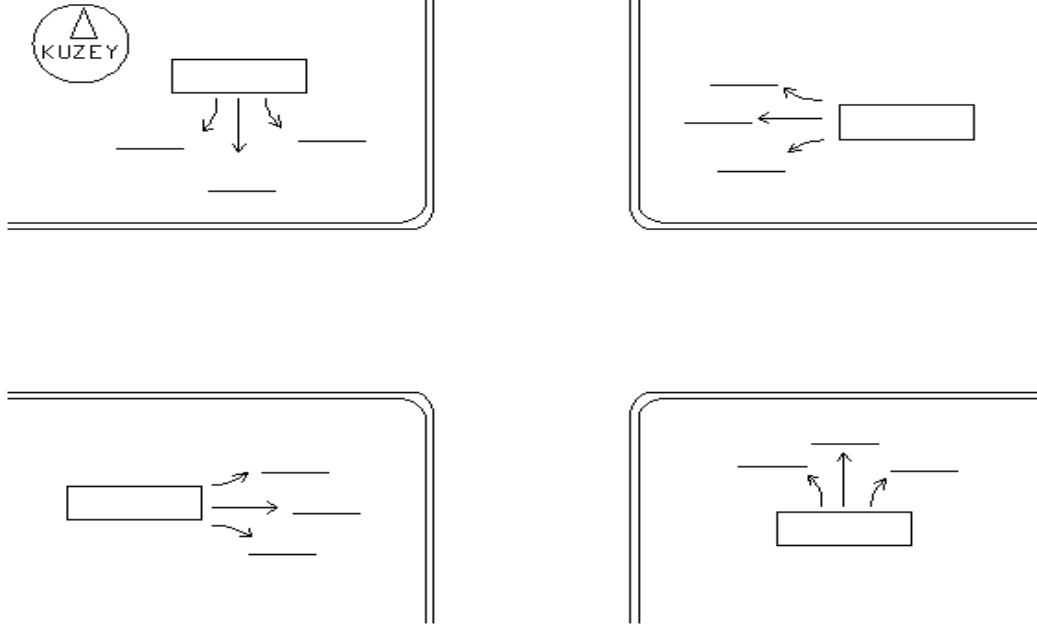
Ek-A Girdi Föyü [12]

Girdi Föyü

Kavşak: _____ Alan türü: _____

Çözümleme Yapan: _____ Tarih: _____ Saat: _____

Kavşak Geometrisi ve Saatlik Taşıt Hacimleri



Trafik ve Yol Şartları

Kavşak Kolu	Eğim %	Ağır Taşıt %	Paralel Park Şeridi		ZSF	Çakışan yaya (yaya/sa)	Yaya düğmesi		Geliş Türü
			E/H	N _m			E/H	G _p	

Faz Diyagramı

g =	g =	g =	g =	g =	g =	g =	g =
r+y =	r+y =	r+y =	r+y =	r+y =	r+y =	r+y =	r+y =
C =	C =	C =	C =	C =	C =	C =	C =

→ Korunan Akım - - - - - → İzin Verilen Akım

Sabit zamanlı / Trafik uyarımalı

Ek-B Hacim Düzeltme Föyü [12]

Hacim Düzeltme Föyü										
Kavşak Kolu	Akım Yönü	Akım Hacmi (tş/sa)	ZSF	Akım Değeri (q _P) (tş/sa)	Şerit Grubu	Şerit Grubu Akım Değeri (q _g)	Şerit Sayısı (N)	Şerit Kullanım Faktörü (U _f)	Düzeltilmiş Şerit Grup Akım Oranı (q)	Şerit Grubu Sol/Sağ Dönen Oranı (P _{LT} /P _{RT})
Batı	Sol Dönen									
	Doğru Giden									
	Sağ Dönen									
Doğu	Sol Dönen									
	Doğru Giden									
	Sağ Dönen									
Güney	Sol Dönen									
	Doğru Giden									
	Sağ Dönen									
Kuzey	Sol Dönen									
	Doğru Giden									
	Sağ Dönen									

Ek-C Doygun Akım Değeri Düzeltme Föyü [12]

Doygun Akım Değeri Düzeltme Föyü													
Kavşak Kolu	Şerit Grubu	Temel Doygun Akım s_o	N	f_w	f_{HV}	f_g	f_p	f_{bb}	f_a	f_{RT}	f_{LT}	Düzeltilmiş Doygun Akım s (tş/sa-şr)	
Batı													
Doğu													
Güney													
Kuzey													

Ek-D Kapasite Çözümleme Föyü [12]

Kapasite Çözümleme Föyü									
Kavşak Kolu	Şerit Grubu	Düzeltilmiş Şerit Grup Akımı q	Düzeltilmiş Doygun Akım s	Akım Oranı q/s	Yeşil Süre Oranı g/D	Şerit Grup Kapasitesi c=s*(g/D)	Hacim/ Kapasite Oranı x =q/c	Kritik Şerit Grubu	Kavşak İçin Kritik Hacim/ Kapasite Oranı x _c
Batı									
Doğu									
Güney									
Kuzey									

Ek-E Hizmet Düzeyi Föyü [12]

Hizmet Düzeyi Föyü													
Kavşak Kolu	Şerit Grubu	Hacim/Kapasite Oranı $x = q/c$	Yeşil Süre Oranı g/D	Devre Süresi D (sn)	w_1 Gecikmesi (sn/tş)	Şerit Grup Kapasitesi $c=s*(g/D)$	w_2 Gecikmesi (sn/tş)	İlerleme Faktörü PF	Şerit Grup Gecikmesi $(w_1+w_2)*PF$	Şerit Grup Hizmet Düzeyi	Kavşak Kolu Gecikmesi w_A	Kavşak Kolu Hizmet Düzeyi	Kavşak Gecikmesi (sn/tş)
Batı													w_1
Doğu													Kavşak Hizmet Düzeyi
Güney													Kavşak Hizmet Düzeyi
Kuzey													Kavşak Hizmet Düzeyi

ÖZGEÇMİŞ

Gülcan Çetinkaya, 1982 yılında Ankara’da doğdu. 1996 tarihinde öğrenimine başladığı Kaya Bayazıtöğlu Lisesi’nden 1999 yılında mezun olduktan sonra, aynı yıl Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. 2002 yılında, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaparak 2005 yılında mezun oldu. Mezuniyetinden sonra proje mühendisi olarak çalıştı. 2006 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi’nde Ulaştırma Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başladı.