

## Ankara İçin Bir Sinyal Zamanlaması Modeli: Beşevler Kavşağı Örneği

Ebru Arıkan ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>, Mustafa Kürşat ÇUBUK<sup>2</sup>, Seda HATİPOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı – Maltepe / ANKARA

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü – Maltepe / ANKARA

Alınış tarihi:04.10.2007, Kabul:05.05.2008

**Özet:** Kentiçi trafik kontrolünde, kavşaklardaki trafiğin kontrol edilmesi önemli role sahiptir. Kavşaklarda trafiğin kontrolü de sinyalizasyon sistemleri ile sağlanır. Bir kavşağın kontrol sürecinde gecikme ve duruşların yaratacağı performans kayıplarının en aza indirilmesi ve tüm yol kullanıcılarına sağlanan faydaların maksimize edilmesi amaçlanır. Sinyalize kavşaklarda bu amaçla kullanılan temel kontrol mekanizması, sinyal zamanlamasıdır. Bu çalışmada, Ankara’da yapılan trafik sayımlarını esas alan bir sinyal zamanlaması modeli geliştirilmiş ve bu model kullanılarak Beşevler kavşağının devre süresi hesaplanmış, mevcut durumda kullanılan süre ile bu yeni süre karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yine bu model kullanılarak hesaplanan Beşevler kavşağının devre süresi, yeşil süreleri ve ortalama taşıt gecikmeleri Webster modeli ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sinyal Zamanlaması, Trafik Kontrolü, Devre Süresi

## A Signal Timing Model for Ankara: Case Study at Beşevler Intersection

**Abstract:** Traffic Control of intersections plays an important role in the urban traffic control. It is performed by using signalizations systems. In the control process of an intersection it is aimed that the performance losses due to delays and stops are minimized and the benefits for all road users are maximized. The basic control mechanism used for this purpose at signalized intersections is the signal timing. In this study, a signal timing model is developed based on the traffic data collected in Ankara, the cycle length of Beşevler intersection is calculated by using this model and then, cycle length obtained from the model is compared with current cycle length. In addition, cycle length, green times and average delays per vehicle are calculated by using model and then, these times are compared with Webster Model’s results.

**Key Words:** Signal Timing, Traffic Control, Cycle Time

### Giriş

Kentiçi karayolu ulaşımının taşıt-km birimiyle değerlendirildiğinde  $2/3$ , ü ve taşıt-saat birimiyle değerlendirildiğinde ise,  $2/3$ , ünden daha büyük bir bölümü trafik ışıkları ile kontrol edilen karayolu ağında gerçekleşmektedir. Dolayısıyla kentiçi karayolu ulaşımının performansı, büyük ölçüde karayolu trafiğinin kontrolünde elde edilen başarıya, karayolu trafiğinin kontrolündeki başarı ise, sinyalize kavşaklarda doğru bir sinyal zamanlamasının yapılmasına bağlıdır (Akdoğan, 2002).

Trafik ışıklarının kontrolü üzerine uygun tekniklerin geliştirilmesi Webster’ın orijinal çalışması ile başlar (Webster, 1958; Webster ve Cobbe, 1966). Bu çalışmadan itibaren, sinyal sürelerinin hesaplanması için kullanılan analitik yöntemler, performans geliştirme amacına yönelik geliştirilmeye devam edilmiştir. İngiliz yöntemi olarak da bilinen Webster metodundan sonraki yıllarda, literatürde duyurusu yapılan ikinci bir analitik model de Avustralya modeli olmuştur. Devre süresi ve faz sürelerinin hesaplanmasında Avustralya yöntemi, Webster modeline benzer özellik göstermektedir (Akdoğan, 2001; Akbaş, 2001; Akçelik, 1994; Akçelik, 1995).

Trafik kontrol teknikleri 1980’li yıllarda yarı iletken ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle beraber büyük ilerlemeler kaydetmiş, 1990’lı yıllara gelindiğinde ise

ileri trafik kontrol tekniklerine (Advanced Traffic Management System ATMS) ilişkin uygulamaların kullanımı hızla yaygınlaşmıştır (Ağır, 1998). Bilgisayar teknolojisindeki bu ilerlemeler, trafiğin analiz edilmesinde pek çok yazılım programlarının gelişmesini sağlamıştır. Şu an pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan bazı yazılımlar şunlardır (Ankan Öztürk, 2004):

- HCS
- HCM/CINEMA
- SOAP
- SIGNAL97
- SIDRA
- EVIPAS
- TEXAS
- PASSER II-III-IV
- TRANSYT-7F
- SYNCHRO
- CORSIM/NETSIM
- INTEGRATION
- CORFLO-FREFLO
- CORSIM NETFLO 1&NETFLO 2

Türkiye’de kavşak kontrolü ve sinyalizasyon hesaplamalarına ilişkin yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Özdirim (1972) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ankara ve İstanbul’da yapılan kavşak ve trafik sayımlarının esas alındığı bir devre süresi modeli geliştirmiş ve bir sinyal abağı tasarlanmıştır.

Gökdağ (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sinyalizasyon kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmelerinin simülasyonu modellenmiştir.

Zeren (1998) çalışmasında, poisson dağılımı ve zaman aralıkları metodunu kullanarak, sinyalizasyon kavşaklarda mevcut devre sürelerinde geçen araç sayısının % gelme ihtimalini hesaplamıştır.

Ağırdır (1998) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kuyruk teorisinden faydalanılarak sinyalizasyon kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir model geliştirilmiştir.

Akbaş (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kritik kavşakların kontrolü için kullanılabilecek tam trafik uyumlu bir kontrol modeli geliştirilmiştir.

Murat (2001) çalışmasında, izole olarak düzenlenmiş sinyalizasyon kavşakların denetiminde kullanılabilecek bir denetleyici modeli geliştirmiştir.

Akdoğan (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sinyalizasyon kavşakların kontrolünde kullanılabilecek bir kavşak kontrol cihazı tasarlanmıştır.

Bu çalışmada ise, Ankara kent merkezinde bulunan 10 adet sinyalizasyon kavşakta; (*Akdeniz Caddesi-Mareşal Fevzi Çakmak Caddesi, DSI-DMO-KKK, Genel Kurmay Kavşağı, Kurtuluş Kavşağı, Eskişehir Yolu-İnönü Bulvarı, Konya Yolu-Bahriye Üçok Caddesi, Osmanlı Kavşağı, Ulus Kavşağı, Tandoğan Kavşağı, Beşevler Kavşağı*), hafta içi (pazartesi hariç) normal bir işgününde, sabah ve akşam pik saatlerinde 2001 yılında yapılmış olan toplam 172 ölçüm ve trafik sayımı veri olarak kullanılmış ve sinyal zamanlamasına esas olan “Devre Süresi” nin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Çalışmada bu model kullanılarak Beşevler kavşağının devre süresi hesaplanmış, bu süre; mevcut durumdaki kavşağın sinyal süresi ve Webster yöntemine göre hesaplanan süre ile karşılaştırılmıştır.

## Sinyal zamanlaması elemanları

**Devre süresi:** Devre süresi (C), sinyalizasyon bir kavşakta ışıkların bir tam devir yapacak şekilde sıra ile yanıp söndüğü saniye olarak toplam süredir. Devre süresi; trafik akımları için ayrılan yeşil süreler ile yeşiller arasındaki sürelerin (kayıp zaman) ve koruma sürelerinin toplamından oluşur (Özdirim, 1972; Wilshire vd., 1985). Sinyalizasyon bir kavşağın projelendirilmesinde; kavşağın geometrik özellikleri, faz düzeni ve trafik koşulları göz önüne alınarak hesaplanan Devre Süresi (C)’nin hesaplanması projenin hemen hemen en önemli

bölümüdür (Wilshire vd., 1985). Devre süresini hesaplayan temel eşitlik, Eşitlik 1’de görülmektedir.

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + \Delta t \quad (1)$$

C=Devre süresi (saniye)

n=Faz sayısı

G<sub>i</sub>=i fazına ait yeşil süre (saniye)

Δt=Toplam kayıp süre (saniye)

Sinyalizasyon bir kavşağın herhangi bir fazında, birden fazla yönde taşıt akımı aynı anda yer alabilir. Bir faz içindeki bu değişik akımlardan, otomobil eşdeğer birimi olarak şerit başına düşen yükü en yüksek olan akım o fazı kontrol eden akımdır ve *Etkili (Dominant) Akım* olarak ifade edilir. Birbirini izleyen fazlardaki en yüksek trafik yüklerinin toplamı da *Toplam Etkili Akım*’dır. Devre süresinin hesaplanmasında kullanılan yöntemin özelliğine göre çeşitli faktörler göz önüne alınmakla birlikte, etkili akım en önemli faktördür (Wilshire vd., 1985).

Pratikte, devre süresi 30 saniyeden daha kısa olan bir kavşak için sinyalizasyon tesisi kurmak gerekli değildir. Ancak, özellikle trafik kazası kriterleri gerçekleşmişse bu şekilde kısa devre süresine sahip sinyalizasyon tesisi kurulabilir. Devre süresinin çok uzun olması ise kural ihlallerine neden olur. Literatürde maksimum devre süresi 135 saniye olarak kabul edilmektedir. Hesaplanan devre süresinin 135 saniyeyi geçtiği kavşaklarda şerit sayısı artırılarak ya da kavşak tipi değiştirilerek devre süresi azaltılabilir (Özdirim 1972; Ayfer, 1977).

**Yeşil ve yeşiller arası süre:** Yeşil süre, bir yönde hareket eden akıma geçiş hakkı verilen süredir. Yeşiller arası süre ise, bir fazın yeşil ışık süresinin sonlandırılıp bunu takip eden fazın yeşil ışık süresinin başlatılması arasındaki süredir. Yeşiller arası süreler, sarı süreler ile her yöne kırmızı süreleri kapsayan sürelerdir.

**Sarı süre:** Sarı ışıklı sinyalin amacı sürücülere, geçiş hakkının sona ermek üzere olduğunu bildirmektir. Bu ışık, kavşağa uzak mesafede olan sürücülerin duruşa geçmelerini, duramayacak kadar yaklaşmış olanların da güvenle geçerek kavşağı boşaltmalarını sağlamayı amaçlar. Sarı sürelerin uzunluğu taşıtların sinyalizasyon tesise yaklaşım hızlarına bağlı olarak belirlenir.

**Kırmızı+Sarı süre:** Bir kavşakta herhangi bir yöne yeşil ışıkla geçiş hakkı verilmeden önce, harekete geçecek taşıtların hazırlanmaları ve zaman kaybetmelerini önlemek üzere, kırmızı ışıkla beraber sarı ışığın da yakıldığı süredir. Devre süresi hesaplanırken bu sürenin belirlenmesi için ayrıca bir hesap yapılmaz (genellikle 2-3 saniye olarak alınır), bu süre kırmızı ışık süresi içindedir.

**Her yöne kırmızı süre:** Her yöne kırmızı süre, devre süresinin bazı aralıklarında ve yeşiller arası sürenin içinde, kavşaktaki bütün akımların aynı anda kırmızı olarak ışıklandırıldığı çok kısa bir süredir.

**Koruma süresi:** Koruma süresi, geçiş hakkı sona eren bir yönden kavşağa giren ve kavşağı boşaltan son taşıt ile bundan sonraki fazda kavşağa girecek ilk taşıtın, kesişme noktasında çarpışmamaları için fazlar arasında bırakılması gereken ve yeşiller arası sürenin bir bölümünü oluşturan zamandır.

**Toplam kayıp süre:** Bir devre süresi içindeki toplam kayıp süre; her faza ait sarı süreler, koruma süreleri ve her yöne kırmızı sürenin toplamıdır.

**Faz düzenleri:** Faz, bir veya daha çok aralığı kapsayan ve sinyal devresinin belirli bir trafik akımını veya akımlarını aynı anda öngören bölümüdür. Seçilecek faz sistemi, kavşak kollarındaki trafik hacmine, kavşağın geometrik yapısına, kavşağa giriş yapan kol sayısına, kavşakta dönüş yapan akımların sayısına ve kavşakta kesişen akımlara bağlıdır.

## Materyal ve Metot

Çalışmada izlenen yöntem aşağıdaki bölümleri içermektedir:

- **Kavşaklarda portatif ses kayıt cihazı ile ölçüm yapılması:** Bu ölçümlerde; kavşak yaklaşım kolunda durarak beklemekte olan taşıtlar, kendilerine yeşil ışık yandığında, DUR çizgisini geçerken ses kayıt cihazına taşıt cinsi belirtilerek (otomobil, minibüs, otobüs, kamyon) anons edilmiştir. Ölçümler kavşak yaklaşım kolundaki bir şerit için yapılmıştır. Ölçümlerde kayıt edilen taşıtlar durmuş ve kendilerine yeşil ışık yandığında harekete geçmiş taşıtlardır. Dolayısıyla şerit tamamen boşaldıktan sonra gelen ve durmadan geçen taşıtlar ölçüme dahil edilmemiştir. Yapılan ölçümler bir kronometre yardımı ile her taşıtın geçiş anları belirlenerek sayısallaştırılmıştır. Çizelge 1’de önek bir ölçüm formu görülmektedir (Arıkan Öztürk, 2004).
- **Kavşaklarda trafik sayımlarının yapılması:** Kavşakta saatlik trafik yükünü tespit etmek üzere, beşer dakikalık aralıklarda geçen taşıtlar cinsleri belirtilerek sayılmıştır. Sayımlar tek şerit için yapılmıştır (Arıkan Öztürk, 2004).
- **Modelin oluşturulması:** Kavşağın boşalma süresine etki eden değişkenleri bir arada ele almak ve bir model oluşturabilmek amacıyla SPSS 7.5 programı kullanılarak çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır (Arıkan Öztürk, 2004).

**Çizelge 1. Örnek ölçüm formu**

Akdeniz cad.-M.Fevzi Çakmak cad. 2 nolu nokta		
Tarih: 24.05.2001 Saat:17:05		
Saatlik trafik yükü M= 625 OB/saat/şerit		
Deney No	Geçiş anı (sn)	Geçen Taşıt
1	3	A
	5	A
	7	A
	10	A
	12	A
	14	A
	16	A
	18	C
	21	A

## Bulgular

**Yapılan trafik sayımları:** 2001 yılında Ankara’da toplam 10 kavşakta yapılan ölçümlerde, yaklaşım kollarından kavşağa girerek kavşağı boşaltan; 1735 otomobil, 250 otobüs, 269 minibüs ve 8 kamyon olmak üzere toplam 2262 taşıt sayılmıştır. Ses kayıt cihazına anons edilen taşıt cinslerini belirlemek için; Otomobil A, Otobüs B, Minibüs C, ve Kamyon K harfleri kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerde, toplam kamyon sayısı ihmal edilmiştir. Sayısallaştırılan veriler, tüm ölçümlerdeki toplam geçiş süreleri ve bu süre içerisinde geçen taşıt sayılarıdır. Örneğin, kavşak yaklaşım kolunda yapılan bir ölçümde elde edilen Çizelge 2’de görülen veriler, Çizelge 3’deki verilere dönüştürülmüştür.

**Devre süresinin belirlenmesi:** Devre süresi modelini belirlemek için, kavşağın boşalma süreleri bağımlı değişken, kavşak yaklaşım kollarından geçen otomobil eşdeğer birimine çevrilmiş toplam taşıt sayısı (m) ve saatlik trafik yükü (M) bağımsız değişkenler olmak üzere çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Eşitlik 2 belirlenmiştir (Arıkan Öztürk, 2004).

$$G = 1,853.m - 0,003.M + 6,326 \quad (2)$$

G=Ölçülen kavşağın boşalma süresi (saniye)

m=Yapılan ölçümlerde bir devre süresi boyunca şeridi boşaltan otomobil eşdeğer birimine çevrilmiş toplam taşıt sayısı (OB/şerit/devre sür.)

M=Şeridin ölçülen saatlik trafik yükü (OB/şerit/saat)

Eşitlik 2’de m ile gösterilen değişken; ölçümlerdeki otomobil, otomobil eşdeğer birimine çevrilmiş minibüs ve otomobil eşdeğer birimine çevrilmiş otobüs sayılarının toplamını ifade etmektedir. Çalışmada; **1 minibüs =1,22 otomobil** ve **1 otobüs = 2,91 otomobil** katsayıları kullanılarak hesaplama yapılmıştır (Arıkan Öztürk, 2004).

**Çizelge 2. Kavşakta yapılan örnek bir ölçüm**

Akdeniz-M. Fevzi Çakmak 24.05.2001 Saat 17:05 M=625 OB/şerit/saat	Geçiş anı saniye	Taşıt cinsi
	3	A
	5	A
	7	A
	10	A
	12	A
	14	A
	16	A
	18	C
	21	A
	4	A
	6	A
	8	A
	11	A
	13	A
15	A	
17	A	
19	A	
22	A	

**Çizelge 3.** Çizelge 2'deki verilerin sayısallaştırılması

Akdeniz M.F. Çakmak 24.05.2001 Saat 17:05 M=625 OB/şerit/saat	Kavşak boşalma süreleri saniye (G)	Kavşağı boşaltan otomobil sayısı (A)	Kavşağı boşaltan otobüs sayısı (B)	Kavşağı boşaltan minibüs sayısı (C)	Kavşağı boşaltan kamyon sayısı(K)	Kavşağı boşaltan toplam taşıt sayısı (m)
	21	8	0	1	0	9
	22	9	0	0	0	9

Eşitlik 2 oluşturulurken kavşağı  $m$  ile  $M$  arasında nasıl bir ilişki olduğunu anlamak üzere bu iki değişken arasındaki korelasyona bakılmış, korelasyon katsayısı 0,22 olarak bulunmuştur. Bu değer, iki değişken arasında pozitif yönde zayıf bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yapılan regresyon analizi sonucunda belirtme katsayısı da  $R^2=0,85$  olarak hesaplanmıştır (Arıkan Öztürk, 2004).

Devre süresi boyunca yaklaşım kolundan kavşağa girerek kavşağı boşaltan otomobil eşdeğer birimindeki toplam taşıt sayısı Eşitlik 3'deki gibi hesaplanır.

$$m = \frac{M \cdot C}{3600} \quad (3)$$

$m$ =Devre süresi boyunca şeridi boşaltan otomobil eşdeğer birimindeki toplam taşıt sayısı (OB/şerit/devre süresi)  
 $M$ =Şeridin saatlik trafik yükü (OB/şerit/saat)  
 $C$ =Devre süresi (saniye)

Eşitlik 1,2 ve 3 esas alınarak aşağıdaki işlemleri yürütmek mümkündür.

$$C = (G_1 + G_2 + \dots + G_n) + \Delta t$$

$$C = (1,853 \cdot m_1 - 0,003 \cdot M_1 + 6,326) + (1,853 \cdot m_2 -$$

$$0,003 \cdot M_2 + 6,326) + \dots + (1,853 \cdot m_n - 0,003 \cdot M_n + 6,326) + \Delta t$$

$$C = (1,853 \cdot \frac{M_1 \cdot C}{3600} - 0,003 \cdot M_1 + 6,326) + (1,853 \cdot \frac{M_2 \cdot C}{3600} -$$

$$0,003 \cdot M_2 + 6,326) + \dots + (1,853 \cdot \frac{M_n \cdot C}{3600} - 0,003 \cdot M_n + 6,326) + \Delta t$$

$$C = 1,853 \cdot C \cdot (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600}) -$$

$$0,003 \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (n \cdot 6,326) + \Delta t$$

$$C - [1,853 \cdot C \cdot (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600})] =$$

$$-0,003 \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (n \cdot 6,326) + \Delta t$$

$$C [1 - 1,853 \cdot (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600})] =$$

$$-0,003 \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (n \cdot 6,326) + \Delta t$$

$$C = \frac{-0,003 \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (n \cdot 6,326) + \Delta t}{[1 - 1,853 \cdot (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600})]}$$

Yukarıdaki eşitlik düzenlendiğinde 4 numaralı nihai eşitlik bulunmuş olur (Arıkan, Öztürk, 2004).

$$C = \frac{6,326n - 0,003 \cdot \sum_{i=1}^n M_i + \Delta t}{1 - \frac{1,853}{3600} \sum_{i=1}^n M_i} \quad (4)$$

$C$ =Devre süresi (saniye)

$n$ =Faz sayısı

$M_i$ = $i$  fazına ait saatlik trafik yükü (OB/şerit/saat)

$\Delta t$ =Toplam kayıp süre (saniye)

Devre süresi hesaplandıktan sonra Eşitlik 2. kullanılarak her faza ait yeşil süreler belirlenir.

Eşitlik 4,  $\sum_{i=1}^n M_i$  nin 2000 otomobili geçmediği

durumlarda tanımlıdır. Yani; kavşakta her faza ait ve şeritlik en yüklü trafik değerinin toplamını oluşturan

$\sum_{i=1}^n M_i$  değerinin 2000'den küçük olması gerekir. Eşitlik

4'ün kullanılabilmesi için kavşaklar, kavşak kollarında doygun akım değerine ulaşmamış kavşaklar olmalıdır.

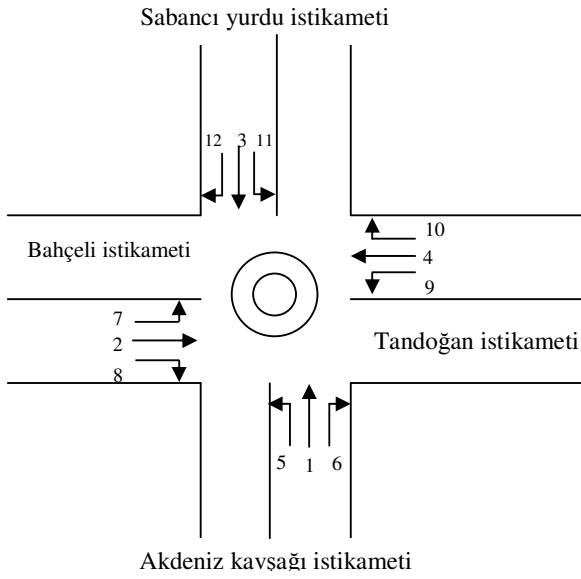
### Ankara Beşevler kavşağı için devre süresinin hesaplanması

Beşevler kavşağı ortasında dairesel bir havuz bulunan, 4 kollu ve 2 fazlı olarak çalıştırılan bir kavşak niteliğindedir. Gerek yoğun bir nüfusun bulunduğu konut alanlarına yakın olması gerekse kavşağın bulunduğu alanda üniversite kampüslerinin bulunması nedenleriyle kavşak günün hemen hemen her saatinde yüksek kapasitede çalışmaktadır

Şekil 1'de Beşevler kavşağının geometrik yapısı ve kavşak kolları görülmektedir. Şekil 2'de ise Beşevler kavşağındaki trafik akımlarının yönlerini gösteren basit bir şema oluşturulmuştur. Şemadan anlaşılacağı gibi 1,2,3 ve 4 numaralı akımlar düz giden akımlar, 6,8,10 ve 12 numaralı akımlar sağa dönen akımlar ve 5,7,9 ve 11 numaralı akımlar ise sola dönen akımlardır. Beşevler kavşağına ait ve 2006 yılında yapılmış olan trafik sayım değerleri Çizelge 4'de görülmektedir.



Şekil 1. Beşevler kavşağı



Şekil 2. Beşevler kavşağı trafik akımları

Çizelge 4. Beşevler kavşağına ait saatlik trafik değerleri

Akımlar	Saatlik trafik yükü otomobil/saat/şerit
1	477
2	526
3	579
4	845
5	318
6	316
7	505
8	108
9	490
10	146
11	490
12	333

Mevcut durumda Beşevler kavşağı 2 fazlı olarak çalıştırılmaktadır ve hafta içi bir günde sabah pikinde çalıştırılan programdaki devre süresi 65 saniyedir. Bu

devre süresi herhangi bir model kullanılarak belirlenmiş olan bir devre süresi değildir. Yetkili birimlerce tecrübelerle dayanarak ve deneme yolu ile belirlenmiş bir devre süresidir.

Mevcut durumda kullanılan devre süresini karşılaştırmak üzere, geliştirilen model ve literatürde kullanılmakta olan Webster modeli ile Beşevler kavşağının devre süresi hesaplanmıştır.

#### Geliştirilen model ile devre süresinin hesaplanması:

Çalışmadaki model esas alınarak yapılan hesaplamada ise; sistem yine 2 fazlı olarak seçilmiş ve kavşak kollarında en fazla trafik yüküne sahip (dominant) akımlar belirlenmiştir. Buna göre; Tandoğan Bahçeli istikametinin oluşturduğu 1. fazda, 4 nolu akım dominant akım, Sabancı yurdu Akdeniz kavşağı istikametinin oluşturduğu 2. fazda ise 3 nolu akım dominant akım olarak seçilmiştir.

Bu iki akımın toplamı da  $\sum_{i=1}^n M_i = (M_3+M_4)$   
 $=579+845=1424$  otomobil birimi olarak tespit edilmiştir. Toplam kayıp süre 10 saniyedir. (her iki fazın sarı süreleri toplamı:  $3+3=6$  saniye ve her iki fazın kırmızı+sarı süreleri toplamı:  $2+2=4$  saniye). Değerler Eşitlik 4'e konulduğunda devre süresi 69 saniye olarak bulunmuştur. Eşitlik 2 kullanılarak, 3 nolu akımın bulunduğu fazın yeşil süresi  $G_3=25$  saniye ve 4 nolu akımın bulunduğu fazın yeşil süresi  $G_4=34$  saniye olarak hesaplanmıştır.

#### Webster modeli ile devre süresinin hesaplanması:

Webster devre süresi formülünde, şeritlerin maksimum kapasitesi olan "doygun akım" dan hareket edilir. Eşitlik 5'de Webster'ın geliştirdiği optimum devre süresi formülü görülmektedir (Webster, 1958)

$$C = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} \quad (5)$$

C=Devre süresi (saniye)

L=Kavşak kayıp süresi (saniye)

Y=Her faz içindeki maksimum akım değerinin (q), o akıma ait doygun akım değerine (s) oranlarının toplamı

Beşevler kavşağında dominant akımlara ait doygun akım değerleri, Webster tarafından oluşturulan doygun akım değerleri tablosunda şerit genişliği 3,6 metreye karşılık gelen 1900 OB/saat kabul edilmiştir. Eşitlik 5'e göre Beşevler kavşağının devre süresi hesaplandığında, optimum devre süresi 80 saniye olarak bulunmuştur.

Webster yöntemine göre yeşil süre hesabı Eşitlik 6 ile yapılabilir. Bu eşitlik kullanılarak, 3 nolu akımın bulunduğu fazın yeşil süresi  $G_3=28$  saniye ve 4 nolu akımın bulunduğu fazın yeşil süresi  $G_4=42$  saniye olarak hesaplanmıştır.

$$G_i = \frac{y_i}{Y} (C - L) \quad (6)$$

$G_i$ =i nolu akıma ait yeşil süre (saniye)

$y_i$ =i nolu akımın maksimum akım değerinin (q), o akıma ait doygun akım değerine (s) oranı

Y=Her faz içindeki maksimum akım değerinin (q), o akıma ait doygun akım değerine (s) oranlarının toplamı

C=Devre süresi (saniye)

L=Kavşak kayıp süresi (saniye)

### Beşevler kavşağı için taşıt başına düşen gecikmelerin hesaplanması

Çalışmadaki modeli Webster yöntemi ile karşılaştırmak için, kavşakta taşıt başına düşen gecikmelerin hesaplanması faydalı olacaktır. Bu gecikmeler Webster gecikme formülü ile hesaplanmıştır. Webster formülü analiz ve gözlem verileri ile birleştirilmiş bir simülasyon çalışmasından elde edilmiştir (Eşitlik 7). Formül üç terimden oluşmaktadır. Birinci terim kavşağa gelen taşıtların uniform olduğu varsayımına dayanmaktadır. İkinci terim taşıt gelişlerinin rastgele olduğu varsayımı yapılarak kuyrukta beklemeyi ifade etmektedir. Üçüncü terim ise düzeltme terimidir (Webster, 1958). Beşevler kavşağına ait taşıt başına düşen gecikmelerin hesaplanmasında üçüncü terim ihmal edilmiştir.

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65\left(\frac{C}{q}\right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)} \quad (7)$$

d=Kavşak yaklaşım kolu için taşıt başına ortalama gecikme (saniye/taşıt)

C=Devre süresi (saniye)

q=Kavşak koluna gelen en yüklü akım (taşıt/saniye)

$\lambda$ =Yeşil sürenin devre süresine oranı (G/C)

x=Doygunluk oranı ( $x=q/\lambda s$ )

s=Doygun akım(taşıt/yeşil saat)

Yapılan taşıt başına düşen ortalama gecikme hesabına göre; geliştirilen modelin devre süresi için, 3 nolu akımın bulunduğu fazdaki taşıt başına ortalama gecikme  $d_3=35,33$  saniye ve 4 nolu akımın bulunduğu fazdaki taşıt başına ortalama gecikme  $d_4=35,79$  saniye olarak hesaplanmıştır. Webster yöntemine göre hesaplanan devre süresinde ise bu değerler  $d_3=42,40$  ve  $d_4=26,24$  olarak bulunmuştur.

### Beşevler kavşağı için değerlendirme:

**Çizelge 5.** Beşevler kavşağı için devre süresi, yeşil süreler ve ortalama gecikmelerin karşılaştırılması

	Devre süresi (sn)	Yeşil süre(sn)		Ort. Gecikme (sn)	
		$G_3$	$G_4$	$d_3$	$d_4$
Geliştirilen model	69	25	34	35,33	35,79
Webster	80	28	42	42,40	26,24

Beşevler kavşağı için, çalışmadaki model kullanılarak hesaplanan devre süresi 69 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu süre mevcut durumda kullanılan devre süresinden 4 saniye fazladır. Webster yöntemine göre hesaplanan devre süresi ise 80 saniyedir ve mevcut devre süresinden 15 saniye fazladır. Geliştirilen model kullanılarak hesaplanan devre süresinin uygulamadaki devre süresine yakın çıkması modelin uygulama ile aynı paralellikte olduğunu göstermektedir.

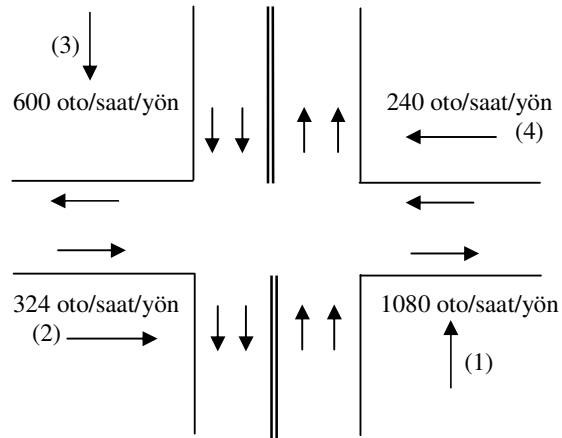
Çizelge 5’de Beşevler kavşağı için hesaplanan taşıt başına düşen ortalama gecikmeler incelendiğinde ise, 3 nolu akımın bulunduğu faz için hesaplanan gecikmenin geliştirilen modelde Webster yöntemine göre 7.07 saniye az çıktığı, 4 nolu akımın bulunduğu faz içinse, gecikmenin geliştirilen modelde Webster yönteminden 9.55 saniye fazla çıktığı görülmektedir. Bu fark, 4 nolu akımın bulunduğu faza ait ve Webster yöntemine göre hesaplanan yeşil sürenin, geliştirilen modele göre yeşil süreden 8 saniye fazla olması ile açıklanabilir.

### Farklı Tipteki Kavşak Örnekleri Üzerinde Geliştirilen Modelin Karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde; geliştirilen modelin geçerliliğini savunabilmek ve genel bir sonuca varabilmek için, farklı tipte ve değişik faz sayıları ile çalıştırılan örnek iki kavşak üzerinde; devre süreleri, akımlara ait yeşil süreler ve taşıt başına düşen gecikmeler hesaplanmıştır.

#### Örnek 1:

Şekil 3’de 4 kollu ve ortasında dairesel ada bulunmayan bir kavşak görülmektedir. Kavşağa ait devre süresi, yeşil süreler ve taşıt başına düşen ortalama gecikmeler, her iki yöntem ile kavşağın 2 fazlı çalıştığı öngörülerek hesaplanacaktır.



**Şekil 3.** 4 kollu kavşak ve kavşaktaki trafik akımları

#### Kavşağa ait veriler:

%15 sola dönüş var. Ağır vasıta geçişine izin verilmiyor.  
Sola dönüş faktörü=1.6,  $\Delta t=10$  saniye  
Doygun akım değeri=1900 otomobil/saat

### Dominant akımların hesaplanması:

$$M_1=0,15 \times 1,6 \times 1080 + 0,85 \times 1080 = 1178 \text{ oto/saat/yön}$$

$$M_1=1178/2=589 \text{ otomobil/saat/şerit}$$

$$M_2=0,15 \times 1,6 \times 324 + 0,85 \times 324 = 353 \text{ oto/saat/yön}$$

$$M_2=1118/1=353 \text{ otomobil/saat/şerit}$$

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_1 + M_2 = 589 + 353 = 942 \text{ otomobil/saat}$$

Veriler; Eşitlik 2, Eşitlik 4, Eşitlik 5, Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de yerine konulmuş, geliştirilen model ve Webster modeli ile devre süreleri, yeşil süreler ve taşıt başına ortalama gecikmeler hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler Çizelge 6'da görülmektedir.

### Örnek 2:

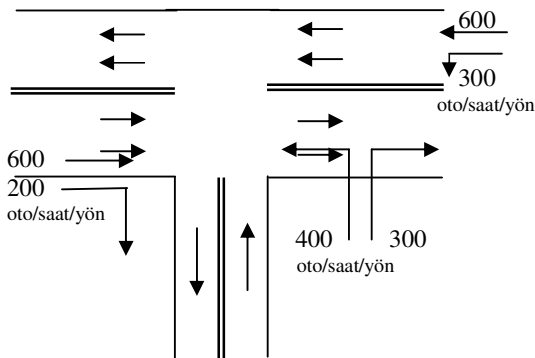
Şekil 4'de 3 kollu bir T kavşak görülmektedir. Kavşağa ait devre süresi, yeşil süreler ve taşıt başına düşen ortalama gecikmeler, her iki yöntem ile kavşağın 3 fazlı çalıştığı öngörülerek hesaplanacaktır.

### Kavşağa ait veriler:

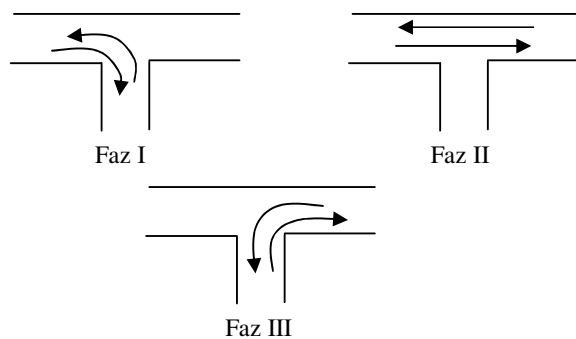
Doygun akım değeri=1900 otomobil/saat

Ağır vasıta geçişine izin verilmiyor.

$\Delta t = 12$  saniye



Şekil 4. 3 kollu kavşak ve kavşaktaki trafik akımları



Şekil 5. 3 kollu kavşağın faz planı

### Dominant akımların hesaplanması:

$$M_1=400 \text{ oto/saat/yön (I. Fazın dominant akımı)}$$

$$M_2=600 \text{ oto/saat/yön (II. Fazın dominant akımı)}$$

$$M_3=300 \text{ oto/saat/yön (III. Fazın dominant akımı)}$$

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_1 + M_2 + M_3 = 400 + 600 + 300 = 1300 \text{ otomobil/saat}$$

Veriler; Eşitlik 2, Eşitlik 4, Eşitlik 5, Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de yerine konulmuş, geliştirilen model ve Webster modeli ile devre süreleri, yeşil süreler ve taşıt başına ortalama gecikmeler hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler de Çizelge 6'da görülmektedir.

### Tartışma ve Sonuç

Çizelge 5 ve Çizelge 6 incelendiğinde, Beşevler kavşağı ile örnek iki kavşakta her iki model ile hesaplanan devre süreleri, yeşil süreler ve taşıt başına ortalama gecikmelerin farklı olduğu görülmektedir. Örneğin Beşevler kavşağında, geliştirilen model ile hesaplanan devre süresi, Webster modelindeki devre süresinden 11 saniye daha azdır. 1.örnek kavşakta bu fark 1 sn olurken, 2. örnek kavşakta ise, geliştirilen model ile hesaplanan devre süresi, Webster modelindeki devre süresinden 9 saniye daha fazla hesaplanmıştır.

Sinayize bir kavşakta, kavşaktan maksimum akımın geçirilebilmesi için araçların toplam durma sayısının ve toplam gecikme süresinin minimize edilmesi hedeflenir. Kavşak sinyalizasyon analizlerinde gecikme süresi önemli bir ölçektir. Çalışmada bu ölçek üzerinden bir değerlendirme yapıldığında şu sonuçlara varmak mümkün olacaktır.

- Beşevler kavşağında, geliştirilen model ile hesaplanan devre süresi Webster modeli ile hesaplanan süreden **11** saniye az olmakla birlikte, taşıt başına ortalama gecikmelere bakıldığında, geliştirilen modelde iki faz için gecikmenin toplam **71.12** (35.33+35.79) saniye, Webster modelinde ise bu değer **64.64** (42.40+26.24) saniye olduğu görülmektedir.
- 1. örnek kavşakta her iki model ile hesaplanan devre süreleri birbirine çok yakın olmakla birlikte ortalama araç gecikmelerine bakıldığında, geliştirilen modelde iki faz için gecikmenin toplam **30.33** (14.29+16.04) saniye, Webster modelinde ise bu değer **31.96** (11.66+20.30) saniye olduğu görülmektedir.
- 2. örnek kavşakta ise; geliştirilen model ile hesaplanan devre süresi, Webster modelinden **9** saniye daha fazladır. Bu kavşak için üç faza ait toplam ortalama taşıt gecikmelerine bakıldığında ise, geliştirilen modelde bu değer **121.94** (41.24+39.90+40.80) saniye, Webster modelinde **122.98** (40.86+31.43+50.69) saniye olduğu görülmektedir.

Çalışma sonuçları, literatürde geçerliliği olan Webster yöntemi ile karşılaştırıldığında çok büyük farklılıklar göstermemekle birlikte, modele veri olan sayımların Ankara'da ve Ankara'nın trafik koşulları altında yapılmış

olmasının, Ankara için yapılacak kavşak sinyalizasyon hesaplamalarında geliştirilen modelin kullanılmasını daha faydalı kılacağı düşünülmektedir. Modelin oluşturulmasında Ankara'daki veriler kullanılmış olmakla birlikte, geliştirilen model tüm sinyalizasyon kavşaklarının zamanlama elemanlarının belirlenmesinde kullanılabilir.

Ankara'da 2006 yılı itibarıyla 3 bölgede yer alan toplam 470 adet sinyalizasyon kavşak bulunmaktadır ve tüm kavşaklar münferit olarak çalıştırılmaktadır. Bu kavşaklarda uygulanan sinyal programlarını belirlemek için herhangi bir model kullanılmamakta, devre süreleri, trafik sayımları esas alınarak Ankara Trafik İşleri Dairesi Başkanlığı teknik personeli tarafından belirlenmektedir. Bu çalışmadan beklenen kazanım, geliştirilen modelin uygulanması ile kavşaklardaki gecikme ve bekleme sürelerinin minimize edilebilmesi, kavşakların kapasite ve performanslarının artırılabilmesinin sağlanmasıdır.

## Öneriler

Türkiye'de kavşaklarda sinyalizasyon hesabı yapılırken aşağıdaki faktörlerin etkilerini dikkate almak gerekir.

- *Şerit başına gelen trafik yükü:* Şerit başına gelen yükün artmasıyla meydana gelen sıkışıklık, sürücülerini psikolojik olarak etkiler. Ayrıca bu yükün çoğaldığı pik saatlerde kavşaklardaki yaya hareketleri de artar.
- *Taşıt kompozisyonu:* Türkiye'de trafik kompozisyonunda ağır vasıtalar önemli bir yer tutar. Bununla birlikte, kentiçi ulaşım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan *Minibüsler* ve özellikle büyük kentlerde kullanılan Okul ve Personel Servis Araçları'nın trafik kompozisyonuna etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.
- *Eksik-hatalı kavşak geometrisi:* Eksik ve hatalı yapılan kavşak geometrieleri kapasiteyi büyük ölçüde etkiler.
- *Trafik kurallarına uyum:* Sürücü ve yayaların trafik kurallarına uymamaları, (kavşaklarda sürücülerin DUR çizgisinde durmaları gerekirken bu çizgiyi geçerek kavşak içine ilerlemeleri, yayaların kendileri için yana kırmızı ışıkta geçiş yapmaları vb.) Türkiye'de sıkça karşılaşılan bir sorundur. Bu kural ihlalleri kavşak kapasitesini etkilemektedir.

**Çizelge 6. Örnek kavşaklar için devre süresi, yeşil süreler ve ortalama gecikmelerin karşılaştırılması**

		Devre süresi (sn)	Yeşil süre (sn)			Ort. Gecikme (sn)		
			G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	
Örn.1	Geliştirilen model	39	17	12		14,29	16,04	
	Webster	40	19	11		11,66	20,30	
-----								
		Devre süresi (sn)	Yeşil süre (sn)			Ort. Gecikme (sn)		
			G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>
Örn.2	Geliştirilen model	82	22	30	18	41,24	39,90	40,80
	Webster	73	19	28	14	40,86	31,43	50,69

## Kaynaklar

- Ağırdır, M.L. 1998. Kuyruk Teorisi Analizi ve Sinyalizasyon Kavşaklarda Yeni Bir Model. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 162s.
- Akbaş, A. 2001. Kentiçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü (Trafik Optimizasyonu). Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 226s.
- Akçelik, R. 1994. Estimation of Green Times and Cycle Time for Vehicle-Actuated Signals. Transportation Research Record, <http://trb.org/> (Erişim Tarihi:18.08.2003).
- Akçelik, R. 1995. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis. Australian Road Research Board, Research Report ARR No:123 <http://www.arrb.com.au/>(Erişim Tarihi:18.082003).
- Akdoğan, E. 2001. Mikrodenetleyici Kullanarak Kavşak Kontrol Cihazı Tasarımı ve Kontrol Eğitiminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 121s.
- Akdoğan, E. 2002. Kavşak Trafikinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Algoritması ve Uzman Sistem Yaklaşımında Kullanılması. Trafik ve Yol Güvenliği II.Ulusal Kongresi ve Sergisi. GÜMMF, Ankara, <http://212.175.37.98/icerik/bildiriler/C4-40.doc> (Erişim Tarihi: 15.06.2007).
- Arkan, Öztürk, E. 2004. Sinyalizasyon Kavşaklarda Devre Süresinin Modellenmesi: Ankara Örneği. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 251s.



- Ayfer, M.Ö. 1977. Trafik Sinyalizasyonu. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası Yayın No: 226, Ankara, 46-67.
- Gökdağ, M. 1996. Sinyalize Kavşaklarda Meydana Gelen Taşıt Gecikmelerinin Simülasyon Modellemesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 151s.
- Murat, Y.Ş. 2001. Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 179s.
- Özdirim, M. 1972. Türkiye’de Trafik Sinyalizasyonunun Formüle Edilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 64s.
- Webster, F.V. 1958. Traffic Signal Settings. Road Research Laboratory, Technical Paper No:39, London, 27-35.
- Webster, F.V., Cobbe, B.M. 1966. Traffic Signals. Road Research Laboratory, Technical Paper No:56, London, 38-46.
- Wilshire, R., Black, R. Grachoske, Higanbotham, J. 1985. Traffic Control Systems Handbook, Revised Edition. FHWA-IP-85-11. Federal Highway Administration Office of Implementation, 400 Seventh Street, SW, Washington DC, 85-102.
- Zeren, N. 1998. Sinyalize Kavşakların Poisson Dağılımı ile Verimliliğin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 68s.