



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## İDEAL TRAFİK IŞIK DEVRE SÜRESİ İÇİN KAVŞAK TAŞIT GECİKMESİ OPTİMİZASYONU

### THE INTERSECTION VEHICLE DELAY OPTIMIZATION FOR IDEAL TRAFFIC LIGHT CYCLE TIME

**Yazarlar (Authors):** Abdülkadir Çıldır<sup>ID</sup>\*, Mesud Kahrıman<sup>ID</sup>, Mesut Tiğdemir<sup>ID</sup>

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çıldır A., Kahrıman M., Tiğdemir M., "İdeal Trafik Işık Devre Süresi İçin Kavşak Taşıtların Gecikmesi Optimizasyonu" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(1): 126-136, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1029260

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# İDEAL TRAFİK IŞIK DEVRE SÜRESİ İÇİN KAVŞAK TAŞIT GECİKMESİ OPTİMİZASYONU

Abdülkadir Çıldır<sup>a</sup> , Mesud Kahrıman<sup>a</sup> , Mesut Tığdemir<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Türkiye

<sup>b</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

\*Sorumlu Yazar: [kadircildir@gmail.com](mailto:kadircildir@gmail.com)

(Geliş/Received: 27.11.2021; Düzeltme/Revised: 09.02.2022; Kabul/Accepted: 28.04.2022)

## ÖZ

Kavşaklardaki taşıt gecikmesi özellikle büyük şehirlerde önemli bir problem haline gelmiştir. Bu gecikmeler şehir trafiğini doğrudan olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu doğrultuda, kavşak gecikmesinin yol açtığı ekonomik ve sosyal birçok olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bu gibi olumsuzlukları kaldırmak için farklı çözümlere başvurulmuştur. Bu çözümlerden birisi kavşağa bağlı yolları genişletmek veya kavşağa yeni yollar eklemek iken; bir diğeri ise kavşağı doğru yönetmekten geçmektedir. Yapılan bu çalışmada 90-120-150 sn devir sürelerinde, kavşak taşıt gecikmelerinin optimizasyonu yapılarak kavşak kollarına ait gecikme süreleri ve trafik sinyalizasyon süreleri belirlenmiştir. Çevreye duyarlı bir şekilde çalışan, değişken sinyalizasyon süresine sahip uyarmalı yöntem ile çevreden bağımsız bir şekilde çalışan sabit sinyalizasyon süresine sahip klasik yöntem karşılaştırılmıştır. Sonuçlar neticesinde; az yoğun kavşaklar için 90 sn gecikme süresi, ortalama yoğunluklu kavşaklar için 120 ışık devir süresi ve çok yoğun kavşaklar için 150 sn ışık devir süresi kullanılması tavsiye edilmiştir. 120 sn ışık devir süresinde, uyarmalı yöntem ile klasik yöntemle kıyasla kavşak gecikmelerinde; kavşak genelinde % 77, anayollarda % 95'lere kadar azalmalar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Taşıt Gecikmesi, Sinyalizasyon Süresi, Uyarmalı Yöntem, Klasik Yöntem, Işık Devir Süresi.

## THE INTERSECTION VEHICLE DELAY OPTIMIZATION FOR IDEAL TRAFFIC LIGHT CYCLE TIME

### ABSTRACT

Vehicle delay at intersections has become an important problem, especially in big cities. These delays directly affect the city traffic negatively. In this direction, many economic and social negativities arise due to the intersection delay. In order to eliminate such negativities, people have looked for different solutions. One of them is to expand these roads by working on the road belonging to the intersection or to add different roads to the intersection; Another easier solution is to manage the intersection correctly. In this study, the delay times of the intersection legs and the traffic signalization times have been determined by optimizing the intersection vehicle delays at 90-120-150 sec cycle times. The actuated method with variable signaling time, which works in environment-dependent manner and the classical method with a fixed signaling time operating independently of the environment have been compared. As a result of the results; It is recommended to use a delay time of 90 seconds for less busy intersections, a light cycle time of 120 for average intensity intersections, and a light cycle time of 150 seconds for very busy intersections. In the 120 sec light cycle time, in the intersection delays compared to the conventional method with the excited method; reductions of 77% across the intersection and up to 95% on the main roads have been achieved.

**Keywords:** Vehicle Delay, Signalization times, Actuated Method, Classic Method, Light Cycle Time.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde şehirlerin kalabalıklaşması ve bunun neticesinde otomobil sayısının sürekli artış göstermesi insanları, şehir trafiğini rahatlatmak için çözümler aramaya sevk etmektedir. Çözüm yöntemlerinden birisi mevcut yol sayısını artırmaktır. Diğer çözüm ise yol sayısını arttırmaya nispeten daha kolay olan mevcut yol kapasitesini en iyi şekilde kullanmaktır. Yol kapasitesini en iyi kullanmanın yolu kavşakta bekleyen araçların bekleme sürelerini azaltabilmekten geçmektedir [1]. Araçların kavşaktaki bekleme süreleri optimize edilmeye çalışılarak trafik sinyal süreleri ayarlanabilmektedir.

Temel olarak kullanılan iki tür trafik sinyal kontrol sistemi vardır. Birinci tip sistemde önceden ayarlanan trafik ışık devir süreleri sabit bir şekilde işlemektedir. İkinci tip sinyal sistemlerinde ise çevreye duyarlı bir şekilde trafik sinyal süreleri değişebilmektedir [2, 3]sa. Araç sayısının fazla olduğu yollarda yeşil ışık süreleri artırılır, araç sayısının az olduğu yollarda ise kırmızı ışık süreleri artırılarak [4] ya da kavşak gecikme süreleri optimize edilerek çözüm yolları sunulabilmektedir.

Kavşağa ait sinyalizasyon sürelerinin ayarlanmasına yönelik çalışmalar yaygın olarak sürdürülmektedir. Bu çalışmalardan bir bölümü ideal kavşak sinyalizasyon süresini belirlemek için kavşak gecikme sürelerini en aza indirmeye yönelik yapılmıştır. Bu konuda pek çok güncel yayın mevcuttur. Trafikte kavşak sinyalizasyon süre problemini çözmek için yapılan çalışmalardan bazıları kısaca özetlenecektir.

Y. Şazi Murat, 2006 yılında “sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi” adı altında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yeni bir yaklaşım getirmek amacıyla bulanık mantığa dayanan bir gecikme tahmini modeli geliştirmiştir. Yaklaşım kolundaki trafik hacmini, kuyruktaki ortalama taşıt sayısını ve kırmızı sinyal süresinin devir süresine oranını parametre olarak dikkate almıştır. Geliştirilmiş model ve arazi çalışmalarında gözlenmiş değerler; HCM [5] ve Akçelik [6] yöntemleriyle karşılaştırılmış ve başarılı sonuçların elde edildiği ifade edilmiştir [7].

Yetiş Şazi Murat, 2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu’nda yayınladığı çalışmada kavşakların kentsel ulaşımın düzenlenmesinde ilk temel etken olduğu üzerinde durmuştur. Bu çalışmada, Ege Bölgesi’nin büyük şehirlerinden olan Denizli şehri için sinyalize kavşakların kontrol düzenlemeleri ele alınmış ve incelenmiştir [8].

Yetiş Şazi Murat’ın 2006 yılında yaptığı bir diğer çalışmada yapay sinir ağlarından yararlanarak kavşaklardaki ortalama araç gecikmelerini tahmin etmeye çalışmıştır. Yapay sinir ağlarıyla ortalama taşıt gecikmelerini tahmin edebilen bir model geliştirmiştir [9].

Trafik tıkanıklığını çözebilmek için 2014 yılında Yüksel Çelik ve Hakkı Soy’un yaptıkları çalışma, öz-örgütlenme (kendi kendine organize olma) sistemine, optimizasyon algoritmalarının uyumlandırılmasıyla; trafik sinyalinin şebekedeki tüm sinyaller ile haberleşmesini amaçlamıştır [10].

Sinan İlgen ve Akif Durdu bir kavşaktaki trafik ışıklarının akıllı denetimi üzerinde çalışmışlardır. Sistem giriş verisi olarak araç yoğunluğunu kabul eden kural tabanlı bulanık modelleme tekniği kullanmışlardır. Çıkış parametresi olarak yolların kırmızı ışık sürelerini tanımlamışlardır. Trafik yoğunluğuna göre kırmızı ışık süresi düzenlenmesi istenildiği ifade edilmiştir. Sonuçta; bulanık mantıklı tekniğinin kavşakların akıllı kontrolünün sağlanmasında kullanılabileceği ifade edilmiştir [11].

Halim Ceylan, Özgür Başkan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2007); geliştirilen yaklaşık hesaplama metodu (YHM) ile sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin bileşenlerini, koordinat transformasyon tekniğini kullanarak çözmeye çalışmışlardır. Sabah trafiğinde, YHM ile yapılan çözüm mevcut duruma göre yaklaşık % 450 oranında bir gecikme azalması, akşam trafiği için ise yaklaşık % 750 oranında bir performans iyileşmesi sağlandığı söylenmiştir [12].

Mustafa Sinan Yardım ve Güzin Akyıldız yaptıkları çalışmada “Akıllı Ulaştırma Sistemleri” hakkında bilgi aktarımı ve bu

konunun Türkiye açısından önemini vurgulamak istemişlerdir. Akıllı ulaşım sistemlerin, dünyanın gelişmiş ülkelerinde çok ileride olduğu fakat Türkiye'nin bu sisteme yaklaşık 30 yıl gecikme ile 1992 yılında bazı otoyollarda otomatik ücret ödeme sistemi uygulamalarıyla geçtiği belirtilmiştir. Ülkemizde akıllı ulaşım sistemlerini kurmak için gerekli bazı aşamalar öngörmüşlerdir. Bunlardan sadece ikisini söylemek gerekirse ilki ciddi bir para yatırımı ikinci olarak kullanıcının iyi bir şekilde bilgilendirilmesi olduğu ifade edilmiştir [13].

Klasik yöntem, sabit ışık döngüsüne sahip çevreden herhangi bir müdahale ile değişmeyen trafik ışık döngü sistemidir [14]. Bu çalışmada da tanımlanan şekilde kullanılan klasik yöntem ile mevcut yol kapasitesini en iyi şekilde kullanmak için örnek çalışmalar eşliğinde kavşak yoğunluğunu azaltan uyarmalı yöntem karşılaştırılarak; uyarmalı yöntemin üstünlüklerinden bahsedilecektir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Kavşak yönetimine ait yapılan çalışmalarda yaygın olarak Avustralya (Akçelik), Webster veya HMC yöntemlerine ait kavşak taşıt gecikme formülleri kullanılmakta ve bu kaynaklar doğrultusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir [15-17]. Bu çalışmada Avustralya yöntemine ait taşıt gecikme formülleri işlem kolaylığı sağlaması ve yaygın kullanımından dolayı tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmada toplam kavşak gecikmesinde yer alan kuyruk uzunluk formülleri Formül 1 ve Formül 2 [6] ile verilmişlerdir.

$$N_0 = \frac{QT_f}{4} \left( z + \sqrt{\frac{12(x + x_0)}{QT_f}} \right) \quad (1)$$

$N_0$  = Ortalama kuyruk uzunluğu (taşıt)

$Q$  = Yol Kapasitesi (taşıt/sa),

$T_f$  = Akım süresi (sa)

$QT_f$  =  $T_f$  süresi boyunca kavşağı boşaltabilecek maksimum taşıt sayısı,

$x_0$  = Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doyumluk derecesi

$x$  =  $q/Q$  doyumluk derecesi,

$z$  =  $x-1$

$$x_0 = 0.67 + sg/6000 \quad (2)$$

$S$  = Doygunluk akımı (Taşıt/saniye)

$g$  = Etkin yeşil süresi

Bu çalışmada kullanılan Avustralya yönteminin toplam kavşak gecikme formülü Formül 3'de verilmektedir [6]

$$D = \frac{qc(1-u)^2}{2(1-y)} + N_0x \quad (3)$$

$D$  = Toplam gecikme,

$qc$  = Her devirde gelen ortalama taşıt sayısı,

$q$  = Taşıt akımı (Taşıt/saniye),

$c$  = Sinyal devir süresi (sn),

$u$  = Yeşil süre oranı ( $g/c$ ),

$y$  = Akım oranı ( $q/s$ ).

Formül 3'de verilen kavşak gecikmesi formülündeki kuyruk uzunluk hesabı için verilen Formül 1 ihmal edilebilecek kadar küçük olmasından dolayı hesaplamalarda kullanılmamıştır.

$$D = \frac{\lambda r^2}{2(1-q)} \quad (4)$$

Formül 4, Formül 3'ün kayıpsız kavşaklarda kullanılabilen daha basit bir halidir.

$$\frac{\partial D}{\partial(r)} = 0 \quad (5)$$

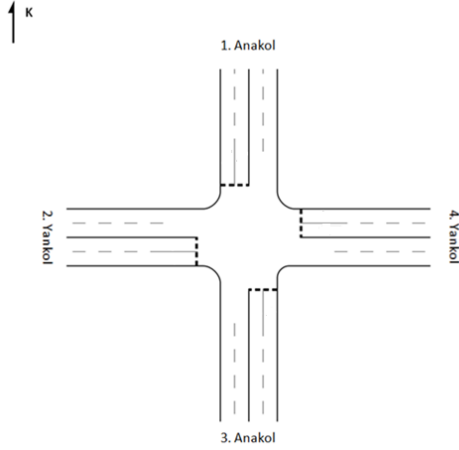
Formül 5 ile ideal devir süresi için minimum kavşak taşıt gecikme süreleri hesaplanmıştır. Uyarmalı yöntemine ait optimum kavşak gecikme süreleri ve ideal devre süreleri Formül 5 ile elde edilmiştir.

## 3. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada Avustralya yöntemine ait kavşak gecikmesi formülleri ile minimum kavşaktaki gecikme süreleri elde edilmek istenmiştir. Optimize edilen kavşak gecikme süreleri ile kavşaktaki kollara ait ideal sinyalizasyon süreleri hesaplanmıştır.

Çalışma, Şekil 1'deki kavşak tipi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kavşakta sadece karşı geçişlere ve sağa dönüşlere izin verilmiştir. Kavşakta karşılıklı yollarda sinyalizasyon süreleri eşit kabul edilmiştir. Üzerinde çalışılan kavşak, izole bir kavşaktır ve kayıp süreler hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, çevreden bağımsız sabit sinyal süreli çalışan klasik yöntem ile çevreye duyarlı değişken sinyal süresi ile çalışan uyarmalı yöntem karşılaştırmaları verilecektir. Aynı zamanda bu yöntemlerin kavşak gecikmeleri birbirleri ile karşılaştırılacaktır.



Şekil 1. Üzerinde çalışılan kavşak gösterimi

Bu kavşak tipinde dört kol için saatte 100, 200, 400, 600, 800, 1000 araç yoğunluklu altı ihtimal ile hesaplamalar yapılmıştır. Bu ihtimaller, kavşağın araç kapasitesine göre ortalama en

düşük araç yoğunluk değerinden, en büyük değerine kadar alınmaya çalışılmıştır. Farklı yoğunluklarda alınan araç kavşak yoğunluklarıyla, kavşağın araç kapasitesini aşmaması istenmiş ve kavşak araç kapasitesi saatte 1200 araç olarak kabul edilmiştir. 1. ve 3. kollar anayol kabul edildiği için burada, saatteki araç yoğunluk ihtimalleri 400, 600, 800, 1000 tercih edilmiştir. 2. ve 4. kollar için ise saatte 100, 200, 400 araç yoğunlukları tercih edilmiştir. Toplamda 12 olasılıklı sonuçlar için alınan kabul değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Kavşaktaki ışık devir süresi 120 sn olarak kabul edilmiştir.

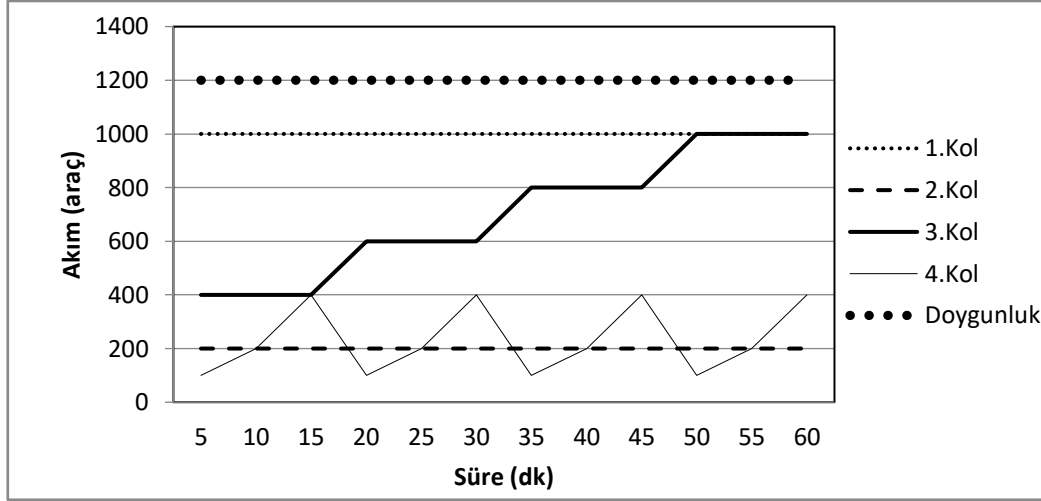
Çizelge 1'de kabul edilen çalışma değerleri verilmiştir. 12 durumdan oluşan çizelgede kavşaktaki her bir koldan geçen saatteki araç sayıları verilmiştir. Her bir kol 5 dakika çalışacak şekilde toplamda 12 durumdan oluşan 1 saatlik bir kurgu düşünülerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Araç doygunluk akımı (kavşak araç kapasitesi), kavşağın kollarda kuyruk oluşturmadan maksimum kaldırabileceği araç kapasitesidir ve çizelgede, saatte 1200 araç olarak verilmiştir. Aynı zamanda bu çalışma Çizelge 1'de verildiği gibi üç farklı devir süreleri (90-120-150) için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Grafikler oluşturulurken alınan kabul değerleri

Durum	1.Kol Akımı (sa)	2.Kol Akımı (sa)	3.Kol Akımı (sa)	4.Kol Akımı (sa)	Devir Süreleri (sn)	Araç Doygunluk Akımı (sa)	Akım Değişim Süresi (dk)
1	1000	200	400	100	90-120-150	1200	5
2	1000	200	400	200	90-120-150	1200	5
3	1000	200	400	400	90-120-150	1200	5
4	1000	200	600	100	90-120-150	1200	5
5	1000	200	600	200	90-120-150	1200	5
6	1000	200	600	400	90-120-150	1200	5
7	1000	200	800	100	90-120-150	1200	5
8	1000	200	800	200	90-120-150	1200	5
9	1000	200	800	400	90-120-150	1200	5
10	1000	200	1000	100	90-120-150	1200	5
11	1000	200	1000	200	90-120-150	1200	5
12	1000	200	1000	400	90-120-150	1200	5

Bu çalışmada kabul edilen araç akım yoğunluk değişim grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Bu şekle göre 4. kol, her 5 dakikada bir değişmiş ve 1. kol ise 1000 araç/sa sabit kabul edilerek

hesaplamalar yapılmıştır. Diğer kolların da bu değerlerin arasında değişim gösterdiği şekilde gözlenmektedir.



Şekil 2. Kavşak kollarındaki araç akımları ve doyumluk akımı değerleri

Çizelge 2’de, 5’er dakikada bir değişen kavşak yoğunluklarına göre uyarmalı ve klasik sistemlerin gecikme verimleri karşılaştırılmıştır. Her bir durumun 5 dakika çalıştığı varsayılmış ve kavşaktaki toplam uyarmalı gecikme süresi örn: 1. durum için 7450 sn olarak kaydedilmiştir. Klasik sistem için toplam gecikme süresi ise 8850 sn olarak kaydedilmiştir. 12 durum için toplamda 1 saat gecikme hesaplamaları uyarmalı ve klasik

sistemler için tespit edilmiş ve gecikme verimleri her bir durumun 5’er dakika çalıştığı kabul edilerek 1 saat için Çizelge 2’ye kaydedilmiştir. Kavşaktaki 1 saat sonundaki gözlemlene sonucu; gecikme süreleri hesaplamaları göz önünde bulundurulduğunda; toplam kavşaktaki gecikme süresini azaltmada, uyarmalı yöntemin klasik yöntemle göre % 39.05 daha verimli çalıştığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 2. 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları

Durum	Uyarmalı Y1Y3 (sn)	Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Uyarmalı D (sn)	Klasik Y1Y3 (sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D(sn)	D Verim (%)
1	106	14	7450	90	30	8850	15,81
2	107	13	7520	90	30	9225	18,48
3	109	11	7635	90	30	9975	23,45
4	112	7	4500	90	30	7200	37,5
5	112	8	4475	90	30	6825	34,43
6	112	8	7850	90	30	12225	35,78
7	114	6	3315	90	30	6090	45,56
8	114	6	3330	90	30	6465	48,49
9	114	6	4540	90	30	7950	42,89
10	115	5	3350	90	30	7215	53,56
11	115	5	4615	90	30	10200	54,75
12	117	3	3390	90	30	9465	64,18
<b>Toplam</b>			61970	90	30	101685	39,05

Çizelge 2’de ait kısaltmalar aşağıda açıklanmıştır.

**Uyarmalı Y1Y3 (sn):** Kavşağa ait uyarmalı yöntemin 1. ve 3. kol yeşil süreleri

**Uyarmalı Y2Y4 (sn):** Kavşağa ait uyarmalı yöntemin 2. ve 4. kol yeşil süreleri

**Uyarmalı D (sn):** Kavşağa ait uyarmalı yöntemin toplam gecikme süresi

**Klasik Y1Y3 (sn):** Kavşağa ait klasik yöntemin 1. ve 3. kol yeşil süreleri

**D verim (%):** Kavşağa ait uyarmalı yöntemin klasik yöntemle göre gecikme verimi

**Klasik Y2Y4 (sn):** Kavşağa ait klasik yöntemin 2. ve 4. kol yeşil süreleri

Çizelge 3’de uyarmalı sinyalizasyon ile klasik yöntemle ait 1. ve 3. yollar için 80’er sn, 2. ve 4. yollar için 40’ar sn yeşil süreleri göz önünde bulundurularak gecikme süreleri ve verimleri hesap edilmiş ve gösterilmiştir.

**Klasik D (sn):** Kavşağa ait klasik yöntemin toplam gecikme süresi

**Çizelge 3.** 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları

Durum	Uyarmalı Y1Y3(sn)	Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Uyarmalı D (sn)	Klasik Y1Y3(sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D(sn)	D Verim (%)
1	106	14	7450	80	40	11065	32,67
2	107	13	7520	80	40	11735	35,91
3	109	11	7635	80	40	13065	41,56
4	112	8	4475	80	40	9465	52,72
5	112	7	4500	80	40	10135	55,59
6	112	8	7850	80	40	17065	53,99
7	114	6	3315	80	40	8885	62,68
8	114	6	3330	80	40	9550	65,13
9	114	6	4540	80	40	11465	60,40
10	115	5	3350	80	40	10885	69,22
11	115	5	4615	80	40	15465	70,15
12	117	3	3390	80	40	14885	77,22
<b>Toplam</b>			61970	80	40	143665	56,86

Çizelge 4’de aynı devir sinyalizasyon süresinde, uyarmalı yöntemi ile her bir koldaki kırmızı ve yeşil süreleri eşit olan klasik

yöntemin, gecikme süreleri ve verimleri birlikte verilmiştir.

**Çizelge 4.** 12 farklı akım kollarına ait uyarmalı ve klasik sistem sinyal süresi için yeşil ve gecikme süreleri karşılaştırmaları

Durum	Uyarmalı Y1Y3 (sn)	Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Uyarmalı D (sn)	Klasik Y1Y3 (sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D(sn)	D Verim (%)
1	106	14	7450	60	60	18600	59,94
2	107	13	7520	60	60	20100	62,58
3	109	11	7635	60	60	23100	66,94
4	112	8	4475	60	60	17700	74,71
5	112	7	4500	60	60	19200	76,56
6	112	8	7850	60	60	32100	75,54
7	114	6	3315	60	60	17375	80,9
8	114	6	3330	60	60	18875	82,35
9	114	6	4540	60	60	22200	79,54
10	115	5	3350	60	60	21875	84,68
11	115	5	4615	60	60	31200	85,20
12	117	3	3390	60	60	30875	89,020
<b>Toplam</b>			61970	60	60	273200	77,31

**Çizelge 5.** Olasılıklı uyarmalı ve farklı klasik sistem sinyal süresi için bir saatteki kavşaktaki toplam gecikme karşılaştırmaları

Durum	Uyarmalı Y1Y3 (sn)	Uyarmalı Y2Y4 (sn)	Uyarmalı D (sn)	Klasik Y1Y3 (sn)	Klasik Y2Y4 (sn)	Klasik D (sn)	D Verim (%)
1	106	14	7450	100	20	7665	2,80
2	107	13	7520	100	20	7835	4,02
3	109	11	7635	100	20	8165	6,49
4	112	8	4475	100	20	5165	13,35
5	112	7	4500	100	20	5335	15,65
6	112	8	7850	100	20	9165	14,34
7	114	6	3315	100	20	4260	22,18
8	114	6	3330	100	20	4425	24,74
9	114	6	4540	100	20	5665	19,85
10	115	5	3350	100	20	4760	29,62
11	115	5	4615	100	20	6665	30,75
12	117	3	3390	100	20	5760	41,14
<b>Toplam</b>			<b>61970</b>	<b>100</b>	<b>20</b>	<b>74865</b>	<b>17,22</b>

Çizelge 5’de uyarmalı sisteminin farklı klasik yöntemin durumlarına göre kavşağa ait tüm kollardaki gecikme sürelerini azaltarak üstünlük sağladığı açık bir şekilde görülmektedir. Uyarmalı sistemin, tüm kavşak için % 17,22 gecikme süresi verimi sağladığı gösterilmiştir.

Buraya kadar farklı klasik sistemlere ait sinyal süreleriyle elde edilen gecikmelerle, uyarmalı

sistemin gecikme süreleri karşılaştırmaları yapılmıştır. Her bir klasik sistemin sinyalizasyon süresinin uyarmalı sisteme göre çok zayıf ve verimsiz olduğu gösterilmiştir. Çizelge 6’de ise buraya kadar hesaplamaları yapılmış olan farklı klasik devir süreleri ve bu sürelerden açığa çıkan gecikme süreleri, uyarmalı sinyalizasyon gecikme süreleri ile birlikte verilmiştir.

**Çizelge 6.** Uyarmalı sistem ve farklı klasik sistemler için gecikme süreleri karşılaştırmaları

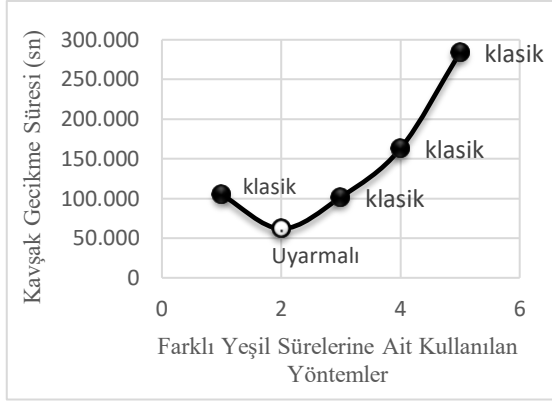
Durum	Yöntem	Devir Süresi (sn)	(Y1Y3/Y2Y4) Kollara Verilen Yeşil Süresi (sn)	D (Toplam Kavşak Araç Gecikmesi) (sn)
1	Klasik	120	80/40	162865
2	Klasik	120	90/30	101685
3	<i>Uyarmalı</i>	<i>120</i>	<i>Değişken</i>	<i>61970</i>
4	Klasik	120	100/20	104865
5	Klasik	120	60/60	284000

Çizelge 6 incelenecek olursa; kavşaktaki 120 sn sinyalizasyon devir süresi korunarak, 1. ve 3. Kollara; 80, 90, 100, 60 sn ve 2. ve 4. kollara ise; sırasıyla 40, 30, 20, 60 sn yeşil ışık süreleri verilmiştir Toplam devir süresi 120 sn olarak kabul edilmiş ve çizelgeye kaydedilmiştir. Çizelge 7’de klasik sistemlere ve uyarmalı sisteme ait yeşil süreleri ve kavşak araç gecikme süreleri birlikte verilmiştir.

Çizelge 6’dan elde edilen verilerle kavşaktaki tüm yolların toplamına ait uyarmalı sistemin gecikme süreleri ve diğer klasik yöntemlerin gecikme süreleri Şekil 3 ile gösterilmiştir.

Uyarmalı sistemin, araçların gecikme süresini, klasik sisteme göre yaklaşık 6 kat azalttığı şekilde görülmektedir. Uyarmalı sinyalizasyon yöntemi, farklı klasik yöntem sinyalizasyon sürelerine göre de araç gecikme sürelerini çok kısalttığı görülmüştür.





**Şekil 3.** Uyarımlı sistem ve klasik sisteme ait farklı yeşil sürelerindeki kavşak araç gecikme süreleri karşılaştırması

Şekil 3 dört farklı klasik yöntem ve bir tane uyarımlı yöntemin toplamda ise beş farklı durumun kavşak gecikme sürelerinin

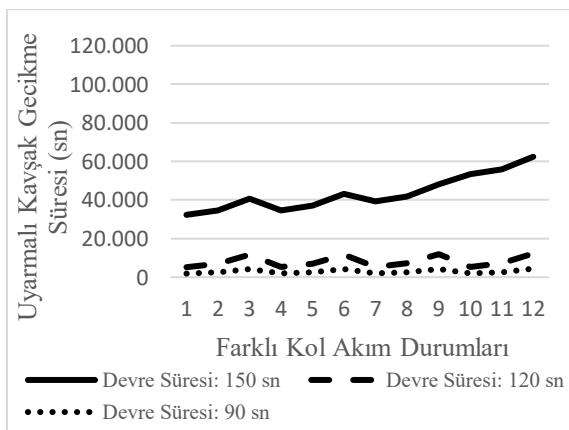
karşılaştırmalarını göstermektedir. Kavşak bütünlüğüne ve anayollardaki araç gecikmelerine bakılacak olursa uyarımlı yöntemin trafiği oldukça rahatlatacağı çok açık bir şekilde Şekil 3’de görülmektedir.

Buraya kadar bütün incelemeler devir süresi sabit 120 sn olacak şekilde yapılmıştır. Şimdi ise farklı devir süreleri göz önünde bulundurularak Çizelge 7 oluşturulmuştur. Devir süreleri 90, 120, 150 sn alınarak kavşaktaki klasik ve uyarımlı yöntemlere ait gecikmeler hesaplanmıştır. Hesaplamalar üst sayfalarda olduğu gibi 12 farklı kol akım durumlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir devir süresine ait araç bekleme süreleri çizelgede aynı renkte verilmiştir. Örn: 90 saniyelik devir süresi kavşak araç gecikmeleri turuncu renkte gösterilmiştir.

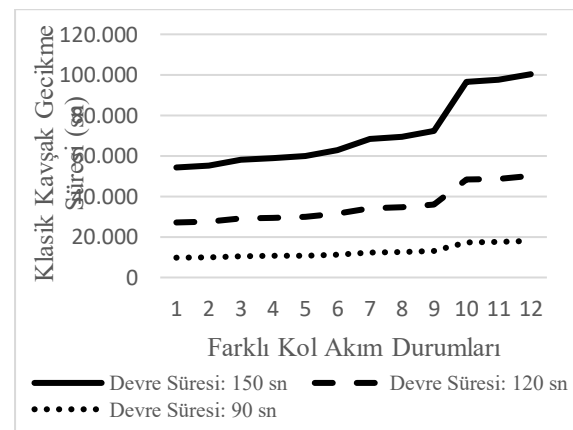
**Çizelge 7.** 12 farklı akım durumu için 3 farklı devir süresine ait uyarımlı ve klasik kavşak gecikme süreleri

Durum	Devir Süresi (sn)	Klasik D (sn)	Uyarımlı D (sn)	Devir Süresi (sn)	Klasik D (sn)	Uyarımlı D (sn)	Devir Süresi (sn)	Klasik D (sn)	Uyarımlı D (sn)
1	90	9770	1865	120	17375	3315	150	27145	5180
2	90	9955	2515	120	17700	4475	150	27655	6990
3	90	10465	4190	120	18600	7450	150	29065	11645
4	90	10615	1875	120	18875	3330	150	29490	5200
5	90	10800	2530	120	19200	4500	150	30000	7030
6	90	11305	4230	120	20100	7520	150	31405	11755
7	90	12305	1885	120	21875	3350	150	34175	5235
8	90	12490	2555	120	22200	4540	150	34690	7095
9	90	12995	4295	120	23100	7635	150	36095	11930
10	90	17365	1910	120	30875	3390	150	48240	5300
11	90	17550	2595	120	31200	4615	150	48750	7210
12	90	18055	4415	120	32100	7850	150	50155	12265
<b>Toplam</b>	90	153670	34860	120	273200	61970	150	426865	96835

\* **D:** Toplam kavşak araç gecikmesi



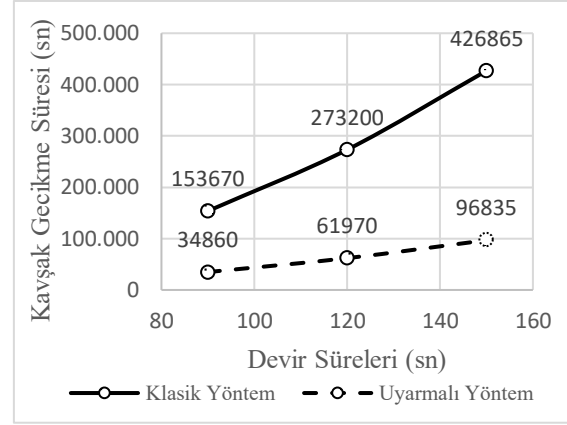
**Şekil 4.** 3 farklı devir süreleri için klasik yöntem kavşak gecikme süreleri



**Şekil 5.** 3 farklı devir süreleri için uyarımlı yöntem kavşak gecikme süreleri

Çizelge 7’den alınan bilgiler ile Şekil 4 ve 5’de, farklı kol akımlarında 3 farklı devir süresine ait klasik ve uyarımalı yöntemler için kavşaktaki araç gecikme süreleri verilmiştir. Şekillerde en az araç gecikmesine sahip devir süresi 90 sn’dir. En fazla gecikme ise 150 sn devir süresinde olmuştur.

Devir sürelerine ait uyarımalı ve klasik yöntem gecikme sürelerine bakılacak olursa: Devir süresi 120 sn iken klasik yöntemin araç gecikme süreleri, 30.000 sn ile 50.000 sn arasında değişim gösterirken; uyarımalı yönteme ait gecikme süreleri, 5.000 ile 10.000 sn arasında değişmektedir. Bu 5’er dakikalık her bir durum için kavşak araç gecikme süresi hesabında en az 6 kat fazla araç beklemesi anlamına gelmektedir. Diğer devir sürelerinde de buna benzer durumlar mevcuttur. Klasik yöntemin uyarımalı yönteme hiçbir devir süresinde üstünlüğü görülmemiştir.



Şekil 6.3 farklı devir süresinde uyarımalı ve klasik yöntem kavşak toplam gecikme süreleri

Şekil 6’da uyarımalı ve klasik yöntem için 5’er dakikalık 12 durumun toplamda 1 saatlik kavşak araç gecikme süreleri birlikte verilmiştir. Ortalama olarak; uyarımalı yöntem ile klasik yöntemlere göre 6 kat daha az araç gecikmesi elde edilebilmektedir. Şekil 6’dan yola çıkılacak olursa; uyarımalı yöntemin, klasik yönteme göre 6 kat daha verimli çalıştığı rahatlıkla söylenebilir.

Yine Şekil 6’ya göre devir süresi arttırıldığında uyarımalı ve klasik yöntemlerin kavşaktaki araç gecikme sürelerinin doğru bir oranda arttığı görülmektedir.

Çizelge 8. Literatür karşılaştırma tablosu

Çalışmalar	Kavşak Tipi	Karşılaştırılan Yöntemler	Gecikme Verimi %
<i>Bu çalışma</i>	<i>İzole</i>	<i>Akçelik-Klasik</i>	<i>77,22</i>
[2]	İzole ve çoklu	Derin Öğrenme-Webster	35,1
[3]	İzole	Derin Öğrenme-Klasik	44,35
[17]	İzole	Yapay Zeka-Webster	27,5

Çizelge 8’de bu çalışma ve bazı literatür çalışmalarının bazı karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Verilen çalışmalar: Kavşak tipi, kullandıkları yöntemleri ve kavşaktaki gecikmeyi azaltabilme verimi açısından incelenmiştir. Her bir çalışma kendi yöntemini kullanarak farklı yöntemler ile kıyaslanmış ve o yönteme göre kavşak gecikme süresini ne kadar azalttı ise çizelgeye aktarılmıştır. Bu çalışmada tek bir kavşak kullanıldığı için izole kavşak tipi yer almış; Akçelik formülleri kullanılarak klasik yöntem ile karşılaştırılmış ve kavşak genelinde klasik yönteme göre % 77,22 verim elde edildiği Çizelge 8’de gösterilmiştir. Çizelge 9’a göre bu çalışmanın diğer

çalışmalara oranla kavşak gecikmesini daha fazla azalttığı görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Kavşağa ait araç gecikme süresi optimizasyonu için yapılan bu çalışma aşağıda detaylı bir şekilde özetlenmektedir.

İdeal ışık devir sürelerinin tespiti için şerit boyutları, araç kayıp süreleri ve ışık sürelerinden oluşan kayıp süreleri hesaplamalarına girilmediğinden dolayı en uygun devir süresi budur denilemeyebilir. Üzerinde çalışılan kavşakta; 90, 120 ve 150 saniye devir süreleri ile uyarımalı ve klasik yönteme ait gecikme süreleri karşılaştırılmıştır.

90 sn'lik devir süresinde uyarmalı yöntemle klasik yönleme göre yaklaşık olarak 6 kata daha az gecikme sağlanmıştır. 150 sn'lik devir süresinde ise uyarmalı yöntemle klasik yönleme göre yaklaşık 5 kat daha az gecikme sunulmuştur. Daha az yoğun bir kavşak için 90 sn'lik devir süresi ve çok daha yoğun kavşaklar için ise 150 sn devir süresi tercih edilebilir. Bu devir sürelerinden ortalama değere sahip olan 120 sn ile daha detaylı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

120 sn devir süresinde, uyarmalı yöntem hesaplamaları yapılırken kavşak bekleme süresinin en az olması amaçlanmıştır. Bu hesaplamalar eşliğinde kavşağa ait kolların yeşil ışık süreleri, toplam araç bekleme süreleri bulunmuştur. Devir süresi yine 120 sn olacak şekilde klasik yöntem olan sabit süreli yeşil ve kırmızı süreli kavşak için toplam araç bekleme süreleri hesaplanmıştır. Uyarmalı yöntemin başarısını göstermek için kavşaktaki kollara farklı yeşil ve kırmızı süreleri verilmiştir. 4 farklı klasik yönleme ait yeşil ışık süreleri ile uyarmalı yöntemden elde edilen yeşil ışık süreleri ve araç bekleme süreleri karşılaştırılmıştır. Uyarmalı yöntem, 4 farklı klasik sisteme de açık ara üstünlük sağlamıştır. Bu üstünlükler; her bir kavşak kolu için 12 durumlu farklı akım kollarında, klasik yöntemin ve uyarmalı yöntemin kavşak bekleme süreleri karşılaştırılarak gösterilmiştir. Uyarmalı yöntem ve klasik yöntem araç gecikme süreleri arasında büyük farklılıklar olduğu grafiklerle gösterilmiştir. Bu gecikmelerden yola çıkılarak uyarmalı yöntemin klasik sisteme göre verimleri de incelenmiştir. Anayollar için % 95'ler kavşak geneli için % 77'lere kadar verimler görülmüş ve grafiklerle gösterilmiştir.

12 farklı kol akım ve gecikmeleri incelediğinde, kavşağın yoğun olduğu durumlarda uyarmalı yöntemin veriminin yoğun olmayan kavşak durumlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda özellikle yoğun kavşaklarda uyarmalı yöntemin tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Bununla beraber kavşağın yoğunluk durumunun çok değişken olduğu durumlarda da uyarmalı yöntemin kullanılması ile yeşil süresi otonom olarak ayarlanacak ve kavşak gecikmeleri ciddi şekilde azaltılacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Webster, F.V., "Traffic signal settings", Road Research Technical Paper, Pages 29-32., London, UK, 1958.
2. Li, D., Wu, J., Xu, M., Wang Z., Hu, K., "Adaptive traffic signal control model on intersections based on deep reinforcement learning", Journal of Advanced Transportation, Vol. 2020, Pages 1-14, 2020.
3. Zeng, J., Hu, J., Zhang, Y., "Adaptive traffic signal control with deep recurrent Q-learning", in: IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Pages 1215-1220, Changshu, China, 2018.
4. Chiu, S., Chand, S., "Adaptive traffic signal control using fuzzy logic. in Fuzzy Systems", Second IEEE International Conference on, Pages 1897-1902, San Antonio, TX, USA, 1993.
5. Wachs, M., Samuels, J., Skinner, R., "Highway capacity manual", Pages 500-501, TRB Business Office, USA, 2000.
6. Akcelik, R., "Traffic signals: capacity and timing analysis", Pages 321-322, ARRB Transport Research Ltd., Australia, 1981.
7. Murat, Y.Ş., "Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi", Teknik Dergi, Cilt 17, Sayı 83, Sayfa 3903-3916, 2006.
8. Murat, Y.Ş., "Kentsel ulaşım çerçevesine sinyalize kavşak", 2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, Emo, Ankara, 1996.
9. Murat, Y.Ş., Başkan, Ö., "İzole sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 12, Sayı 1, Sayfa. 214-227, 2006.
10. Çelik, Y., H. Soy, "Trafik Tıkanıklığının Azaltılması İçin Öz-Örgütlenme Tabanlı Akıllı Trafik Optimizasyonu Yaklaşımı", XVI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Sayfa 5-7, 2014.
11. İlgen, S., A. Durdu, "Bulanık Mantık Yöntemi İle Trafik Işıklarının Akıllı Kontrolü", ELECO-2016 Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Sayfa 669-672, Bursa, 2016.
12. Ceylan, H., Başkan, Ö., Ceylan H., Haldenbilen, S., "Yaklaşık hesaplama metodu ile sinyalize kavşaklarda gecikme bileşenlerinin matematiksel çözümü",

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 2, Sayfa 279-288, 2007.

13. Yardım, M.S., Akyıldız, G., "Akıllı ulaştırma sistemleri ve türkiye'deki uygulamalar", 6. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Sayfa 406-4014, İstanbul, 2005.
14. Abdoos, M., Mozayani, N., Bazzan, A., "Traffic light control in non-stationary environments based on multi agent Q-learning", 14th International IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC)., Pages 1580-1585, Washington, DC, USA, 2011.
15. Neumann, T., Wagner P., Wagner, "Delay times in a cellular traffic flow model for road sections with periodic outflow", The European Physical Journal B, Vol. 63, Issue 2, Pages 255-264, 2008.
16. Černický, L., A. Kalašová, Kapusta, J., "Signal controlled junctions calculations in traffic capacity assessment-Aimsun, Omnitrans, Webster and TP 10/2010 results comparison", Transport Problems Vol. 11 Issue 1, Pages 121-130, 2016.
17. Chang, Y.L., Zhou, Y.Y., "Research of signalized intersection delay model by using optimization method" in: Applied Mechanics and Materials, Pages 2742-2746, Switzerland, 2012.