

PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME YÖNTEMİ İLE AYRIK SİNYALİZE KAVŞAK ENİYİLENMESİ

Cenk OZAN, Özgür BAŞKAN, Halim CEYLAN, Soner HALDENBİLEN

Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., Ulaştırma Anabilim Dalı, 20070 Denizli
cozan@pau.edu.tr, obaskan@pau.edu.tr, halimc@pau.edu.tr, shaldenbilen@pau.edu.tr

ÖZET

Artan ulaşım talebi sonucu kentiçi ulaşım ağlarındaki kavşaklarda meydana gelen tıkanıklık ve gecikmeleri azaltmanın etkin yollarından birisi kavşakların sinyalizasyon sistemleri ile en uygun bir şekilde kontrol edilmesidir. Sinyalizasyon sistemleri kontrol ettikleri kavşakların durumuna göre hem ayırık hem de eşgüdümlü sistemler olarak işletilebilmektedir. Sinyal tasarım parametreleri genellikle bir kavşaktaki toplam gecikmeyi en küçükleyecek şekilde elde edilmektedir. Gecikme, bir kavşağın hizmet seviyesini belirleyen anahtar bir değişken olup üniform ve üniform olmayan olmak üzere iki bileşen ile tanımlanmaktadır. Üniform gecikme, temel olarak klasik gecikme bağıntıları ile belirlenmektedir. Buna karşın, üniform olmayan gecikme bileşeni, problemin doğası ve kavşağa gelen trafik talebinin rastgeleliğinden dolayı kolayca belirlenmemektedir. Gecikmenin en küçüklenmesi veya kapasitenin en büyüklenmesine bağlı olarak en uygun sinyal parametrelerinin elde edilmesi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, trafik kontrol sisteminin karmaşıklığı ve matematiksel olarak çözümünün zor olmasından dolayı yeni yöntemlerin araştırılarak uygulanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu amaçla, çalışmada; trafik kontrol alanında yeni uygulama alanı bulan Pekıştirmeli Öğrenme (PÖ) tekniğı seçilerek **PÖ Sinyal Kontrol Algoritması (PÖSKA)** geliştirilmiştir. Pekıştirmeli Öğrenme (PÖ), karar vericinin çevre ile etkileşimini dikkate alarak en uygun sonuca ulaşılmasına olanak sağlayan yapay zeka yöntemlerinden birisidir. PÖSKA modeli dört kollu ve üç fazlı örnek bir kavşak üzerine uygulanmış ve sonuçlar gözlem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Örnek uygulama sonucunda PÖSKA ile ayırık sinyalize kavşaklarda en uygun sinyal parametrelerinin elde edilebileceğı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Trafik sinyal eniyilenmesi, pekıştirmeli öğrenme, ayırık sinyalize kavşak.

1. GİRİŞ

Kentiçi ulaşım ağlarında, sinyalizasyon sistemleri gecikmeleri azaltmak ve trafik güvenliğini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Son yıllarda artan motorlu taşıt kullanımı nedeniyle kavşak kapasitesinden en iyi şekilde yararlanmak açısından kavşak sinyal parametrelerinin en uygun değerlerinin bulunması oldukça önemlidir. Kavşakları kontrol eden sinyalizasyon sistemleri kavşağın durumuna göre ayırık veya eşgüdümlü olarak işletilmektedir. Literatürde en uygun sinyal sürelerinin belirlenmesi için farklı yöntemler geliştirilmiş olmasına rağmen problemin karmaşıklığından dolayı günümüzde problemin çözümü ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu konudaki ilk çalışma, Webster [1] tarafından yapılmıştır. Günümüzde iletişim ve bilgi teknolojileri konusunda yaşanan gelişmeler sinyal parametrelerinin eniyilenmesi için klasik yöntemlerden farklı olarak yapay zeka yöntemlerinin kullanılmasına da olanak sağlamaktadır. Robertson [2] tarafından geliştirilen TRANSYT yazılımı günümüzde hala güncelliğini korumaktadır. Ayrıca gerçek zamanlı trafik hacim verilerini kullanan talebe duyarlı programlarda geliştirilmiştir [3].

Trafik tıkanıklığı kentsel alanlardaki ve özellikle büyük kentlerdeki temel problemlerden biridir. Trafik mühendisleri ve araştırmacılar trafik problemlerini çözmek amacıyla özellikle kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmelerini azaltmaya çalışmaktadırlar. Kentiçi ulaşım ağlarındaki toplam seyahat süresinin en büyük kısmını kavşaklardaki gecikmeler oluşturmaktadır. Bu yüzden, kavşaklardaki sinyal parametrelerinin eniyilenmesi, ulaşım ağının performansını önemli şekilde etkilemektedir. Ayrıca ortalama taşıt gecikmesi, sinyalizasyon kavşak tasarımı ve hizmet seviyesinin belirlenmesi için anahtar parametrelerden birisidir. Taşıt gecikmesi, üniform ve üniform olmayan olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Üniform gecikme sinyal süreleri ve trafik hacimlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Diğer yandan, üniform olmayan gecikme, taşıt kuyrukları ve rastgele varışlar dikkate alınarak tespit edilmektedir. Üniform gecikme kolay şekilde ele edilebilirken, üniform olmayan gecikmenin belirlenmesi özellikle doygun üstü durumlarda araştırmacılar için problem oluşturmaktadır. Bu çalışmada, ayırık sinyalizasyon bir kavşaktaki sinyal sürelerini eniyilemek için geliştirilen **Pekiştirmeli Öğrenme Sinyal Kontrol Algoritması (PÖSKA)** kullanılmıştır. İkinci bölümde, gecikme ile ilgili bağıntılardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde pekiştirmeli öğrenme metodunun genel yapısı verilmiştir. Önerilen modellerin sayısal uygulaması dördüncü bölümde ele alınmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

2. SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME

Sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmeleri üniform ve üniform olmayan gecikme olarak ikiye ayrılmaktadır. Üniform gecikme sinyal parametreleri ve trafik hacmine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Ancak üniform olmayan gecikmelerin hesaplanmasında kuyruk oluşumu ve araçların kavşaklara rastgele varışları göz önünde bulundurulmalıdır [4].

Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmesi, durma, hızlanma ve yavaşlama gecikmesi olarak tanımlanmaktadır. Durma gecikmesi, sinyalizasyon kavşaktaki kırmızı veya yeşil sürede taşıtın durarak harcadığı zamanı içermektedir. Hızlanma gecikmesi, sinyallerin yeşile dönmelerinden sonra hızlanmak için gereken süre olarak tanımlanabilmektedir. Yavaşlama gecikmesi ise taşıtların sinyalizasyon bir kavşağa yaklaşırken yavaşlaması sırasında

kaybettikleri zamandır. Sinyalize trafik kontrol sistemlerinin tasarımında ve değerlendirilmesinde, toplam gecikme oldukça yaygın olarak kullanılan bir parametredir.

Webster [1] ve Webster ve Cobbe [5] taşıt gecikmelerini ilk modelleyen çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmalarda doyumluk derecesine bağılı olarak gecikme hesapları yapılmıştır. Ayrıca kritik doyumluk derecesi için gecikmenin sonsuza gitme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Kimber ve Daly [6] gecikme hesabında kuyruk uzunluğunun etkisini dikkate almış ve zamana bağılı kuyruk modeli geliştirmiştir. Akçelik [7] yolların kapasitesi el kitabının (HCM-1985 [8]) gecikme bağıntısını ele almış ve bu bağıntıda kalibrasyon önermiştir. Kalibre ettiğı gecikme bağıntısını Avustralya, Kanada yöntemleri ve TRANSYT programı ile karşılaştırmış ve doyum altı ve doyum trafik koşulları için benzer sonuçlar elde etmiştir. Prevedouros ve Koga [9] HCM gecikme bağıntısı ile ilgilenmiş ve 1985 ile 1994 versiyonlarını karşılaştırmıştır. Yenilenen gecikme bağıntısının gerçeğe yakın değerler verdiğini belirlenmiştir. Powell [10] HCM-1997 gecikme bağıntısını iyileştirmek amacıyla yavaşlama ve hızlanma gecikmelerini temsil eden bazı düzeltme faktörleri önermiştir. Çalışma sonucunda, başarılı sonuçlar elde edilmiş ve ağır taşıt etkisi, arazi koşullarındaki değişimler gibi bir dizi faktörün de gelecek çalışmalarda dikkate alınması gerektiğı önerilmiştir. Ozan ve diğeri [11] ayrı sinyalize kavşaklardaki sinyal parametrelerinin eniyilenmesi için pekiştirmeli öğrenme metodu tabanlı RLSD modelini kullanmışlardır. Webster tarafından geliştirilen gecikme bağıntısı modelde amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Geliştirilen modelin doyum altı ve üstü durumlar için gecikme hesabında başarılı olduğı görülmüştür. Ayrıca Murat ve Başkan [12] tarafından sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmeleri yapay sinir ağı metodu ile hesaplanmıştır. Doyum üstü akım koşullarında geliştirilen modelin analitik bağıntılara göre daha iyi sonuçlar verdiğı bulunmuştur. Ceylan ve diğeri [13] sinyalize kavşaklardaki gecikme bileşenlerini yaklaşık hesaplama yöntemi ile belirlemişlerdir.

Ayrı sinyalize kavşak parametrelerinin eniyilenmesi amacıyla birçok çalışma literatürde mevcuttur. Çalışmalar özellikle doyum üstü durumda gecikme değerlerinin gerçeğe en yakın şekilde belirlenebilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu nedenle çalışmada ayrı kavşak sinyal parametrelerinin eniyilenmesi amacıyla doyum ve doyum üstü durumlarda çalışabilen PÖSKA dinamik modeli geliştirilmiştir. Akçelik [7] tarafından geliştirilen gecikme bağıntısı amaç fonksiyonu olarak kullanılmış ayrıca sonuçlar gözlem sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2.1 Akçelik Yöntemi

Akçelik [7] tarafından önerilen yonteme göre bir akımdaki araçların ortalama gecikmesini bulabilmek için öncelikle bu akımın oluşturduğı kuyruk uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Kuyruk uzunluğı değeri Denklem (1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$N_0 = \frac{QT_f}{4} \left\{ z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x + x_0)}{QT_f}} \right\} \quad (1)$$

Burada, N_0 ; taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğı (birden fazla şerit varsa, tüm şeritlerdeki taşıt sayısı toplamı), Q ; ta/sa cinsinden kapasite, T_f ; akım süresi, QT_f ; T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı, x ; doyumluk derecesi ($x=q/Q$), $Z = x-1$, x_0 ; kuyruğun yaklaşık olarak sıfır olduğı en büyük doyumluk derecesidir ve Denklem (2) yardımıyla hesaplanmaktadır. Eğer $x_0 > x$ ise N_0 değeri sıfır olmaktadır.

$$x_0 = 0.67 + \frac{sg}{600} \quad (2)$$

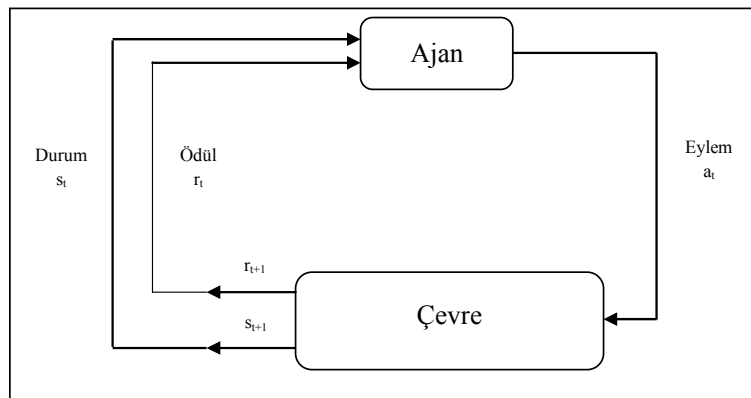
Burada, s ; ta/sn cinsinden doygun akımı, g ; sn cinsinden etkin yeşil süreyi ifade etmektedir. Toplam gecikme değeri ise Denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

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

Bu denklemde, D ; toplam gecikme, qc ; her devrede gelen ortalama taşıt sayısı, q ; ta/sn cinsinden akım, c ; sn cinsinden devre süresi, u ; yeşil süre oranı ($u=g/c$), y ; akım oranı ($y=q/s$) olarak verilmiştir.

3. PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME

Pekiştirmeli Öğrenme (PÖ), temel olarak belirli bir amaca erişmek için çevre ile etkileşim sonucunda öğrenme anlamına gelmektedir. PÖ’de karar verici ajan olarak adlandırılmakta ve ajan çevresi ile etkileşim içinde olmaktadır. Bu etkileşim, ajana çevreyi algılamasını sağlamak ve bu algılamaya bağlı olarak ajanın çevre içinde uygulayacağı eylemi seçmesi gerekmektedir. Uygulanan eylem çevreyi değiştirebilmektedir ve bu değişim ajana sayısal bir sinyal aracılığıyla iletilmektedir. Çevrede ise yapılan eyleme karşı sayısal değerlerden oluşan ödüller açığa çıkmakta ve ajan zamanla bu ödülleri en büyükmeye çalışmaktadır. Ajan ve çevre ardışık zaman adımlarında, $t = (0,1,2,3,...)$, birbirleriyle etkileşmektedir. Her bir t zaman adımında, ajan çevrenin muhtemel durum kümesinden, S , çevrenin durumu, $s_t \in S$, hakkında belirli bilgiler almakta ve s_t durumundaki muhtemel eylemler kümesinden, $A(s_t)$, bir eylem, $a_t \in A(s_t)$, seçmektedir. Sonrasında, ajan çevreden sayısal bir ödül, $r_{t+1} \in R$, almakta ve kendini çevrenin yeni bir durumunda, s_{t+1} , konumlandırmaktadır. Şekil 1’de ajan-çevre etkileşimi görülmektedir [15].



Şekil 1. Pekiştirmeli öğrenmede ajan-çevre etkileşimi

Q-öğrenme algoritması, pekiştirmeli öğrenme yöntemleri içinde modele ihtiyaç duymayan bir yaklaşım olup bu algorithmada çevrenin nasıl çalıştığı hakkında ajana herhangi bir bilgi verilmemektedir. Bunun yerine ajan eylemleri deneyerek en iyi ödülü veren eylemi seçmektedir. Q-öğrenme algoritması, durum-eylem değerlerinin tahmini ile çalışmaktadır.

Q değerleri olarak adlandırılan bu değerler verilen bir durum-eylem çifti için sayısal tahminlerdir [16]. Q -öğrenme algoritması, pekiştirmeli öğrenme literatüründe önemli bir yer tutmaktadır. Algoritmada, Q tablosu olarak adlandırılan tablonun elemanları her durum değişiminde güncellenmektedir [15]. Bu tabloda her bir durum, s , ve eylem, a , çifti için bir Q değeri, $Q(s,a)$, bulunmaktadır. Ajan, çevrenin bir durumdan, s_t , başka bir duruma geçişinde, s_{t+1} , yapılan eylemin, a_t , ardından ödül, r_{t+1} , almaktadır. Q değerleri Denklem (4) ile tanımlanmaktadır.

$$Q(s,a) = r(s,a) + \gamma \times Q^*(s',a') \quad (4)$$

Burada, $Q(s,a)$, durum eylem çifti (s,a) için Q değeridir. $Q^*(s',a')$, s durumunda a eylemi tamamlanmasının ardından gelen s' durumunda seçilen a' eyleminin seçimi ile elde edilebilen en iyi Q değeridir. $r(s,a)$, s durumunda a eylemi tamamlandığında alınan ödül değeridir. γ , gelecekteki ödüllere atanan ağırlığı temsil eden azaltma faktörüdür [17]. Öğrenme süreci, bir kaç öğrenme evresinden meydana gelmektedir. Her öğrenme evresi rasgele bir s durumunda başlamakta, ajan bir a eylemi seçip tamamlamakta, ödülü almakta ve yeni durumu gözlemlemektedir. Buna bağlı olarak, ajan Q değerlerini bu durum-eylem çiftine göre Denklem (5)'de verilen bağıntıyı kullanarak güncellemektedir.

$$Q_t(s,a) = (1-\alpha) \times Q_{t-1}(s,a) + \alpha \times [r(s,a) + \gamma \times \max_{a'} Q_{t-1}(s',a')] \quad (5)$$

Burada, $Q_t(s,a)$ güncellenmiş Q değeri, $Q_{t-1}(s,a)$ Q tablosunda önceden kaydedilmiş güncellenmesi gereken Q değeri ve α algoritmanın öğrenme oranı olup önceden kaydedilen $Q_{t-1}(s,a)$ değeri ile karşılaştırmak için yeni hesaplanan Q değerine atanan ağırlığı tanımlamaktadır ve γ azaltma faktörüdür [18].

3.1 Pekiştirmeli Öğrenme Sinyal Kontrol Algoritması

Ayrık kavşak sinyal tasarım parametrelerinin eniyilenmesi amacıyla geliştirilen PÖSKA'nın matematiksel yapısı Denklem (6)'da verilen matriste gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} Q_{11}(s_t, a_t), Q_{12}(s_t, a_t), \dots, Q_{1n}(s_t, a_t) \\ Q_{21}(s_t, a_t), Q_{22}(s_t, a_t), \dots, Q_{2n}(s_t, a_t) \\ \dots \\ Q_{m1}(s_t, a_t), Q_{m2}(s_t, a_t), \dots, Q_{mn}(s_t, a_t) \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f_1(Q_1(s_t, a_t)) \\ f_2(Q_2(s_t, a_t)) \\ \dots \\ f_m(Q_m(s_t, a_t)) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada, m çevrenin boyutunu, n karar değişkenlerinin sayısını ve t öğrenme evresinin sayısını ifade etmektedir. Denklem (6)'da verilen matrisin her bir elemanı o öğrenme evresinde çevre içindeki her bir duruma karşılık gelen eylemi temsil eden karar

değişkenlerini ifade etmektedir. Ayrıca PÖSKA'nın çözüm algoritması Şekil 2'de gösterilmektedir.

PÖSKA'da ödül fonksiyonunun değeri, $r_t(s, a)$, s durumunda yapılan a eyleminin amaç fonksiyonunu nasıl etkilediğini belirlemektedir. Bu amaçla geliştirilen ödül fonksiyonu Denklem (7)'de verilmektedir.

```

t=0.  $\alpha, \gamma$  parametrelerini belirle
While  $t \leq t_{max}$  do ( $t_{max}$ =maksimum öğrenme evresi sayısı)
  Başlangıç  $Q(s, a)$  değerlerini oluştur
  Her  $Q(s, a)$  değeri için amaç fonksiyonunun değerini hesapla
  En iyi  $Q_{t-1}^{best}(s, a)$  sakla
  En iyi  $Q_t^{best}(s, a)$  bul
  Ödül değerini  $r_t(s, a)$  Denklem (7)'yi kullanarak hesapla
   $Q_t(s, a)$  değerlerini Denklem (5)'u kullanarak güncelle
t=t+1
End while

```

Şekil 2. PÖSKA çözüm algoritması

$$r_t(s, a) = \frac{Q_t^{best}(s, a) - Q_t(s, a)}{Q_t(s, a)} \quad (7)$$

Burada, $r_t(s, a)$ ödül fonksiyonu, $Q_t(s, a)$ t 'nci öğrenme evresinde çevre içindeki herhangi bir duruma karşılık gelen eylemi temsil eden karar değişkeninin Q değeri ve $Q_t^{best}(s, a)$ t 'nci öğrenme evresinde çevre içinde elde edilen en iyi Q değeridir. PÖSKA'da ödül fonksiyonu, en iyi Q değeri ile öğrenme evresindeki Q değeri arasındaki farkın Q değerine bölümüdür. PÖSKA'da ödül değerleri, ödül fonksiyonunun yapısından dolayı "0" değerine yaklaşmaktadır. Öğrenme evrelerinin sonunda, amaç fonksiyonunun en uygun veya en uyguna yakın bir değeri elde edildiğinde, tüm ödül değerleri "0" değerine yaklaşmaktadır. PÖSKA'da toplam ödül değerinin, amaç fonksiyonunun en uygun veya en uyguna yakın bir değere ulaşması için enküçüklenmesi gerekmektedir.

4. SAYISAL UYGULAMA

Çalışmada PÖSKA dört kollu ve üç fazlı örnek bir kavşağa uygulanmıştır. Karar değişkeni sayısı (n), üç adet faz yeşil süresi ve bir adet devre süresi olmak üzere 4'dür. Çevre boyutu (m) 20 olarak seçilmiştir. PÖSKA'nın genel yapısı Şekil 3'de verilmektedir. Örnek ayrık sinyalizasyon kavşak ve faz düzeni Şekil 4'de görülmektedir. Örnek kavşağa ait iki farklı durum için trafik akımları Çizelge 1'de verilmektedir. Doygun akım oranları her şeritte eşit olarak 1800 ta/sa alınmıştır. Kavşaktaki devre süresi kısıtını sağlamak için yeşil süreler tüm fazlara Denklem (8)'de verilen bağıntıya göre dağıtılmaktadır [19].

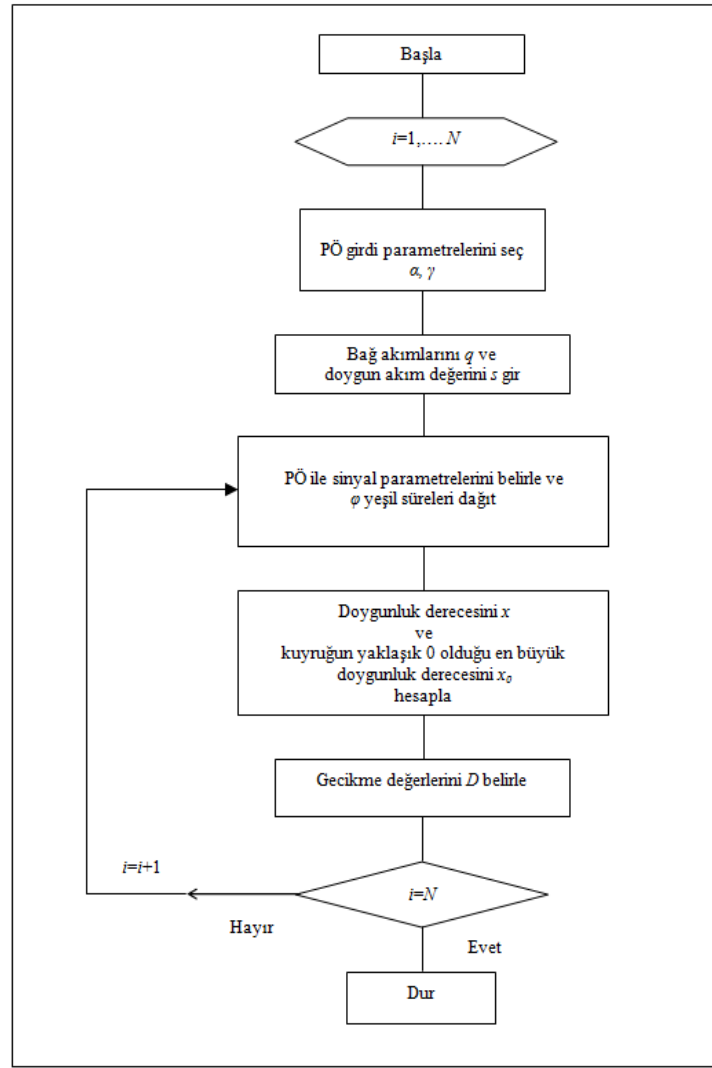
$$\varphi_i = \varphi_{\min,i} + \frac{\varphi_i}{\sum_{k=1}^m \varphi_i} \left(C_i - \sum_{k=1}^m I_k - \sum_{k=1}^m \varphi_{\min,k} \right) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Burada, φ_i ; sn cinsinden yeşil süre, $\varphi_{\min,i}$ sn cinsinden en küçük yeşil süre, m ; faz sayısı ve I_i ; sn cinsinden fazlar arasındaki yeşillerarası süredir. PÖSKA'da Akçelik [7] tarafından önerilen gecikme bağıntısı kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar Denklem (9)'da verilmektedir.

$$\begin{aligned} & \underset{\psi \in \Omega_0}{\text{Min}} D(\psi, q) \\ \psi = (C, \varphi) \in \Omega; & \left\{ \begin{array}{ll} C_{\min} \leq C \leq C_{\max} & \text{kavşak için devre süresi kısıtı} \\ \varphi_{\min} \leq \varphi \leq C & \text{her faz için yeşil süre kısıtı} \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

Burada, D ; kavşak için ortalama gecikme değerini, q ; ta/sa cinsinden kavşağın her yaklaşımındaki trafik akımını, ψ ; sinyal tasarım parametrelerini, C ; sn cinsinden kavşak için devre süresini, φ ; sn cinsinden her faz için yeşil süreyi göstermektedir. Sinyal süreleri ilgili kısıtlar aşağıda verilmektedir.

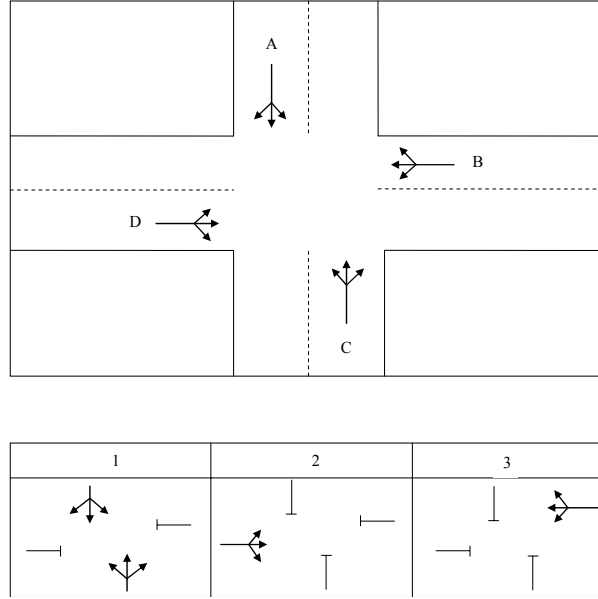
$$\begin{aligned} C_{\min}, C_{\max} &= 40, 120 \text{ sn} && \text{kavşak için devre süresi sınırları} \\ \varphi_{\min} &= 7 \text{ sn} && \text{her faz için en küçük yeşil süre} \end{aligned}$$



Şekil 3. PÖSKA akış şeması

Çizelge 1. Örnek kavşak için trafik akımları

Yaklaşım	Trafik hacimleri (ta/sa)	
	1. durum	2. durum
A	200	90
B	400	750
C	250	100
D	350	550



Şekil 4. Örnek kavşak

Örnek kavşaktaki iki farklı durum için gecikmeler PÖSKA modeli ile elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. PÖSKA uygulaması

Durum	Faz	En uygun devre süresi (sn)	Yeşil süre (sn)	Trafik hacmi (ta/sa)	Doygunluk derecesi (x)	Ortalama gecikme (sn/ta)	
1	1	63	15	250	0.61	21.23	158.4
	2		17	350	0.77	70.05	
	3		19	400	0.88	67.11	
2	1	120	15	100	0.29	48.64	324.98
	2		42	550	1.01	113.39	
	3		51	750	1.08	162.95	

Örnek kavşakta 1. durum için verilen trafik hacim değerlerine göre PÖSKA modeli kullanılarak sinyal parametreleri belirlenmiştir. Çizelge 2’den görüldüğü gibi, bu durum için doyumluk derecesi her faz için kritik değer olan 1’den küçüktür. PÖSKA modeli ile her fazın gecikme değerleri sırasıyla 21.23, 70.05 ve 67.11 sn olarak bulunmuştur. 2. duruma bakıldığında ikinci ve üçüncü fazın trafik hacimleri daha yüksek olduğundan bu fazların doyumluk dereceleri 1’den büyüktür. Bu durumda, PÖSKA modeli ile gecikme değeri 324.98 sn olarak bulunmuştur. Bu durum için yeşil süreler sırasıyla 15, 42 ve 51 sn olarak hesaplanmıştır.

Geliştirilen PÖSKA modelinin sonuçlarını gözlem değerleri ile karşılaştırmak için Denizli kentinde ayırık sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilen Halley ve İtfaiye kavşakları incelenmiştir. Söz konusu kavşaklar için PÖSKA modeli ile elde edilen sonuçlar ayrıca Ozan ve diğerleri

[11] tarafından geliştirilen RLSO (**R**einforcement **L**earning **S**ignal **O**ptimizer) modeli ile karşılaştırılmıştır. Her iki kavşak dört kollu ve üç fazlıdır. Bu kavşaklara ait trafik hacimleri, devre süreleri ve yeşil süreler Çizelge 3 ve 4’de verilmektedir [12].

Çizelge 3. Halley kavşağına ait hacim değerleri, devre ve yeşil süreleri

Faz	Trafik hacimleri (ta/sa)	Devre süresi (sn)	Yeşil süre (sn)
1	385	92	30
2	222		16
3	252		34

Çizelge 4. İtfaiye kavşağına ait hacim değerleri, devre ve yeşil süreleri

Faz	Trafik hacimleri (ta/sa)	Devre süresi (sn)	Yeşil süre (sn)
1	595	112	35
2	170		35
3	90		30

Halley ve İtfaiye kavşaklarındaki gecikme değerleri PÖSKA modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 5’de PÖSKA, RLSO ve gözlem değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Çizelgeden görülebileceği gibi, Ortalama gecikme değerleri karşılaştırıldığında, RLSO algoritmasının PÖSKA’ya göre daha düşük değer vermesi seçilen amaç fonksiyonundan kaynaklanmaktadır. Ancak, çalışmanın temel amacı farklı gecikme formülasyonları ile en uygun trafik kontrol parametrelerinin hesabı yapılırken PÖ algoritmasının uygulanmasını araştırmak olduğu için genel yaklaşımda bir sorun olmayacağı varsayılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 5. Halley ve İtfaiye kavşaklarındaki gecikme değerlerinin karşılaştırılması

Kavşak	Faz	En uy. dev. süresi (sn)		Yeşil süre (sn)		Trafik hacmi (ta/sa)	Doy. derecesi (x)	Ortalama gecikme (sn/ta)		
		RLSO	PÖSKA	RLSO	PÖSKA			Gözlem	RLSO	PÖSKA
Halley	1	40	43	9	10	222	0.55	168.48	67.30	125.81
	2			10	11	385	0.86			
	3			9	10	252	0.62			
İtfaiye	1	50	63	11	13	90	0.22	129.87	115.72	129.37
	2			16	24	595	1.03			
	3			11	14	170	0.42			

RLSO ve PÖSKA modelleri gözlem değerleri ile karşılaştırıldığında daha düşük devre süresi ve gecikme değerleri verdiği görülmektedir. Halley kavşağının devre süresi 92 sn iken RLSO ve PÖSKA modelleri ile en uygun devre süreleri sırasıyla 40 ve 43 sn olmaktadır. Aynı şekilde İtfaiye kavşağı için devre süresi arazide 112 sn olarak

belirlenmesine rağmen RLSO ve PÖSKA modelleri ile 50 ve 63 sn'lik değerler elde edilmektedir. Sonuç olarak, PÖSKA modelinin doygun altı ve üstü durumlar için ayrık sinyalize kavşaklardaki sinyal sürelerinin eniyilenmesi amacıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ayrık sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerini enküçükleyen sinyal parametrelerinin belirlenmesi amacıyla PÖSKA modeli kullanılmıştır. Önerilen model, dört kollu ve üç fazlı örnek bir kavşak üzerinde uygulanmıştır. Daha sonra, PÖSKA modeli Denizli kentindeki Halley ve İtfaiye kavşaklarına uygulanmış ve sonuçlar gözlem sonuçları ve RLSO modeli ile karşılaştırılmıştır. PÖSKA modeli ile elde edilen sonuçlara göre önerilen modelin gözlem değerlerine göre daha düşük devre süreleri üretebildiği belirlenmiştir. Ayrıca PÖSKA modeli ile elde edilen en uygun devre sürelerinin ise RLSO modeli ile uyumlu olduğu görülmektedir. Sonuç olarak PÖSKA modelinin hem doygun altı durum hem de doygun üstü durumda gecikme değerlerinin enküçüklenmesini sağlayan dinamik bir model olduğu ve modelin ayrık sinyalize kavşaklardaki sinyal sürelerini eniyileyebildiği düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda PÖ metodunun alansal trafik kontrollü probleminin çözümündeki performansının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen BAP-2010FBE063 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] F. V. Webster, 1958, "Traffic Signal Settings", Road Research Technical Paper No. 39, HMSO, London.
- [2] D. I. Robertson, 1969, "TRANSYT method for area traffic control", Traffic Engineering and Control, 10, 276–81.
- [3] P. B. Hunt, D. I. Robertson, R. D. Bretherton and R. I. Winton, 1981, "SCOOT—A traffic responsive method of coordinating signals", TRRL Laboratory Report 1014, TRRL, Berkshire, England.
- [4] H. Ceylan, S. Haldenbilen, H.Ceylan and O. Baskan, 2010, "Development of delay models with quasi-Newton method resulting from TRANSYT traffic model", Journal of Scientific & Industrial Research Vol. 69, pp. 87-93.
- [5] F. V. Webster and B. M. Cobbe, 1966, "Traffic Signal Settings", Road Research Laboratory, Road Research Technical Paper No.56, London, p.110.
- [6] R. M. Kimber and P. N. Daly, 1986, "Time-dependent queuing at road junctions: observation and prediction", Transportation Research Part B 20B, 187–203.
- [7] R. Akçelik, 1981, "Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis Research Report 123", Australian Road Research Board, Melbourne, Australia.

- [8] Highway Capacity Manual, 1985, “Special Report 209”, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA.
- [9] P. D. Prevedouros and C. A. Koga, 1996, “Comparison of 1985 and 1994 HCM: signalized intersection delay estimates”, ITE J, 66, 26-30.
- [10] J. L. Powell, 1998, “Field measurement of signalized intersection delay for 1997 update of the highway capacity manual”, Transportation Research Record, 1416, 79-86.
- [11] C. Ozan, Ö. Başkan, S. Haldenbilen ve H. Ceylan, 2011, “Reinforcement learning approach for optimizing traffic signal timings at isolated intersections”, International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, Epoka University, Tirana, Albania.
- [12] Y. S. Murat and O. Baskan, 2006, “Modeling vehicle delays at signalized intersections: Artificial neural networks approach”, Journal of Scientific and Industrial Research, 65, 558-564.
- [13] H. Ceylan, Ö. Başkan, H. Ceylan ve S. Haldenbilen, 2007, “Yaklaşık hesaplama metodu ile sinyalizasyon kavşaklarında gecikme bileşenlerinin matematiksel çözümü”, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 13, Sayı: 2, s. 279-288.
- [14] R. P. Roess, E. S. Prassas, and W. R. McShane, 1998, “Traffic Engineering”, Second Edition, Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.
- [15] R. S. Sutton and A. G. Barto, 1998, “Reinforcement Learning – An Introduction”, The MIT Press.
- [16] Ana L. C. Bazzan, D. Oliveira and B. C. Silva, 2010, “Learning in groups of traffic signals”, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23, 560-568.
- [17] M. Vanhussel, D. Janssens, G. Wets and K. Vanhoof, 2009, “Simulation of sequential data: An enhanced reinforcement learning approach”, Expert Systems with Applications, 36, 8032-8039.
- [18] L. P. Kaelbling, M. L. Littman and A. W. Moore, 1996, “Reinforcement Learning: A Survey”, Journal of Artificial Intelligence Research, 4, 237-285.
- [19] H. Ceylan and M. G. H. Bell, 2004, “Traffic signal timing optimisation based on genetic algorithm approach, including drivers’ routing”, Transportation Research, 38B (4), 329–342.