

Farklı Senaryolar için Bulanık Mantık Tabanlı Adaptif Trafik Sinyal Kontrolü

Fuzzy Logic Based Adaptive Traffic Signal Control for Different Scenarios

Zülal Hilal Yıldız Budak¹, Akif Durdu², Seyit Alperen Çeltek³

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Konya Teknik Üniversitesi, Konya
zhybudak@ktun.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Konya Teknik Üniversitesi, Konya
adurdu@ktun.edu.tr

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman
salperenceltek@kmu.edu.tr

Özetçe

Dünya genelinde hızlı nüfus artışı, özellikle büyükşehirlerde trafik problemlerine ve trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Trafik sıkışıklığı sorunu her geçen gün artarak şehirlerin en büyük sorunlarından biri haline gelmektedir. Trafik yoğunluğunun nedenleri göz önüne alındığında ve diğer etkenlerle karşılaştırıldığında trafik ışıkları sinyali kontrolü ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, Simulation of Urban MObility benzetim programı kullanılarak farklı senaryolar üretilmiştir. İki farklı senaryo ile şehir içi trafik akışında uzun ve büyük araçların trafiğe etkisi incelenerek bu araçların ortalama gecikme sürelerini artırdığı gösterilmiştir. Şehir içi trafik akışında izole bir kavşağa yaklaşan araçların ortalama bekleme süreleri ve acil durum araçlarının ortalama bekleme sürelerini azaltmak için bulanık mantık tabanlı trafik kontrol sistemi önerilmiştir. Ayrıca önerilen model, geleneksel sabit zamanlı trafik ışık kontrol sistemi ve gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemleri ile karşılaştırılarak; önerilen yöntemin ortalama araç bekleme süresi ve ortalama acil durum araç bekleme süresini önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Abstract

Rapid population growth around the world causes traffic problems and traffic jams, especially in metropolitan cities. The problem of traffic congestion is increasing day by day, becoming one of the biggest problems of cities. When the causes of traffic density are taken into account and compared with other factors, traffic lights signal control comes to the fore. In this study, different scenarios were produced using the Simulation of Urban MObility simulation program. By examining the effect of long and large vehicles on traffic in urban traffic flow with two different scenarios, it has been shown that these vehicles increase the average delay times. A

fuzzy logic-based traffic control system has been proposed to reduce the average waiting times of vehicles approaching an isolated intersection in urban traffic flow and the average waiting times of emergency vehicles. In addition, the proposed model is compared with the traditional fixed-time traffic light control system and delay-time traffic control methods; It has been found that the proposed method significantly improves the average vehicle waiting time and the average emergency vehicle waiting time.

1. Giriş

Günümüzde nüfus artışı özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığının artmasına neden olmaktadır. Önemli bir sorun haline gelen trafik sıkışıklığıyla başa çıkmak için geleneksel uzun vadeli yaklaşımlar kapsamlı yatırımlar gerektirmektedir. Bu yöntemler ile, ek yol şeritleri veya yeni ulaşım koridorları inşa edilerek mevcut altyapıyı iyileştirmek mümkündür. Büyük şehirlerde bu geleneksel yöntemlerin uygulanması uzun süreli, zor ve yüksek maliyetlidir. Bu soruna uygulanabilir ve daha hızlı çözümler gerekli görülmektedir [1,2]. Günümüz kentsel ortamlarında kullanılan trafik sinyallerinin kontrolü, trafik sıkışıklığının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır [3].

Trafik kontrol yönetimi, trafik sıkışıklığını azaltmada önemlidir. Ayrıca seyahat süresi, yakıt tüketimi ve çevre kirliliği vb. Azaltma imkânı sağlar [4,5]. Trafik kontrol yöntemleri; mevcut alt yapıyı değiştirmeden kısa sürede, etkin ve uygun maliyetli çözümler sunar [6].

Literatür incelendiğinde trafik sinyali kontrol yöntemleri genel olarak şu şekilde tanımlanır: Sabit Trafik Sinyali Kontrolü (STSK), Adaptif Trafik Sinyali Kontrolü (ATSK)'dir. Mevcut sitemlerde sabit trafik sinyali kontrolü yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. STSK, sabit süreli

sinyallere bağlıdır. Sabit zamanlı trafik sinyal kontrolü, önceden girilen sinyallerin faz sırasına göre trafik yoluna sabit süreler uygulanmasından oluşur. Trafik akışının zaman içinde dinamik olarak değişebildiği ve ani trafik değişimlerini dikkate almayan sabit süreli trafik kontrol sistemlerinin yetersiz kalabildiği tespit edilmektedir. Özellikle hafta içi iş ve okul giriş-çıkış saatlerinde veya hafta sonu gibi trafiğin yoğun olduğu dönemlerde, kaza durumlarında ve acil durum araçlarının (ambulans, itfaiye vb.) trafiğe dahil olduğu durumlarda öncelikli yol geçiş hakkının acil durum araçlarına verilmesi gerekmektedir. Bu gibi durumlarda sabit süreli trafik kontrol sistemleri yetersiz kalmakta ve trafik sıkışıklığı ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Geleneksel yöntemlerin bu tür sorunları çözmekteki yetersizliği nedeniyle, yeni ve etkili çözümler arayışı önem arz etmektedir.

ATSK'nın temel amacı, trafik talebindeki dinamik değişikliklere etkin bir şekilde yanıt vermek ve trafik akışını optimize etmektir. Bu tür tekniklerde, trafik akışına uygun olarak çevrim uzunluğu, yeşil zaman dilimleri ve faz sıraları gibi trafik parametreleri ayarlanabilir. Bu ayarlamaların temel hedefi, ortalama bekleme sürelerini ve kavşaklardaki durak sayısını azaltmaya yöneliktir.

Son yıllarda, özellikle yoğun saatlerde trafik akışındaki verimliliği artırmak için akıllı trafik sinyal kontrol sistemleri önem kazanmıştır [8]. Akıllı trafik sinyal kontrol sistemleri, geleneksel ulaşım sistemini kablosuz iletişim teknolojileri ve sensör ağıyla bütünleştirilerek trafik ağındaki gerçek zamanlı araç verilerinin toplanmasını mümkün kılar [9]. Böylece kavşaktaki trafik durumu tespit edilerek uygun faz süresinin ayarlanması ve trafik yoğunluğunun azaltılması amaçlanır. Gerçek zamanlı trafik sıkışıklık problemleri göz önüne alındığında, kent içi trafik ağının verimli koordinasyonu akıllı ve adaptif trafik sinyal kontrol uygulamaları ile mümkün hale gelmektedir [10].

Trafik sinyal kontrol sistemi ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda geleneksel yöntemler kısmi olarak iyi sonuç verebilirken, trafikte sürücü davranışındaki değişikliği tahmin etmek zor olduğundan, yeni sinyal programlarının mevcut trafik sistemi üzerindeki etkisini hesaplamak genellikle karmaşık ve zordur. Birçok sinyalle kavşakta sabit süreli sinyal programlı trafik ışığı kontrol sistemleri günümüzde de kullanılmaktadır. Bu durum; seyahat konforunun, trafik güvenliğinin azalmasına ve kuyruk uzunluklarında, araç bekleme sürelerinde genel bir artışa yol açar. Trafik akışları zaman içinde değiştiğinden, akıllı trafik ışığı kontrolüne ihtiyaç vardır. Bu nedenle, akıllı trafik denetleyicisi ile yapay zekâ yöntemlerine dayanan akıllı bulanık mantık denetleyicisi tasarımları ön plana çıkmaktadır.

Kavşaklardaki verimi iyileştirmek için bulanık mantık tabanlı trafik sinyal kontrolü gerçekleştirilebilir. Bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak trafik sinyallerinin kontrol edilmesine yönelik araştırmalar dikkat çekmektedir. Bulanık mantık, insan düşüncesine benzer gerçekçi kuralların gerçekleştirilmesini sağlayan bir yapay zekâ yöntemidir. Trafik sinyal kontrolüne uygulandığında, bulanık mantığın görevi, trafik yoğunluk durumu ve yolun önem sıralamasına göre trafik ışıklarına bilgi verip trafik sinyal sürelerini bu durumlara göre ayarlamaktır. Böylece ortalama seyahat süresi ve ortalama araç bekleme süresi en aza indirilerek trafik sıkışıklığını önemli ölçüde azaltmak mümkündür [11].

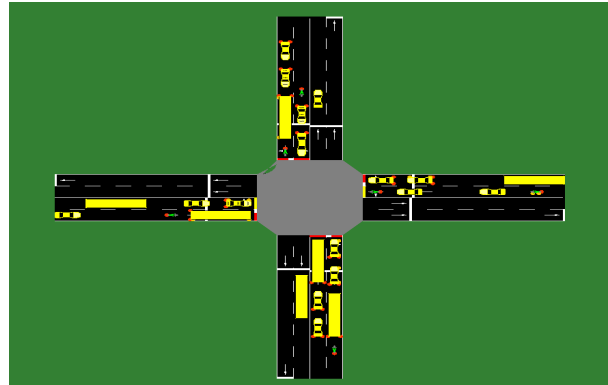
Bu çalışmada, bulanık mantık tabanlı akıllı bir trafik sinyalizasyon sistemi önerilmektedir. Önerilen model, Simulation of Urban MObility (SUMO) Trafik Simülatörü kullanılarak oluşturulan dört yöllü izole bir kavşakta gerçekleştirilmiştir. SUMO trafik simülatöründe iki senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryo, şehir içi trafikte büyük ve küçük araçlardan oluşan karma bir trafik akış senaryosudur. Bu senaryoda acil durum araçları da mevcuttur. Bu senaryoda, acil durum araçları trafik akışına dahil olduğunda trafik ışıkları bu araçlara yol önceliği vermektedir. İkinci senaryo, izole bir kavşak için şehir içi trafik akışında sadece küçük araçlar bulunmaktadır. Bu senaryoda, büyük ve uzun araçların trafik akışına etkisi incelenmiştir. İlk senaryodaki gibi acil durum araç önceliği bu senaryoda da etkindir. Bulanık mantık kurallarına ve önem sıralamasına göre trafik ışık sürelerini ayarlanarak iki senaryo için de araçların ortalama bekleme süresi incelenmiştir. Önerilen model, ortalama araç bekleme süresi kriteri ile kavşağın verimini maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca geleneksel sabit zamanlı ve gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemleriyle önerilen bulanık mantık tabanlı trafik kontrol modeli karşılaştırılarak kavşaktaki verimlilik durumları incelenmiştir.

Bu makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. Bölüm, SUMO benzetim programı hakkında bilgi vermektedir. 3. Bölüm, trafik sinyal kontrol yöntemlerinden bahsetmektedir. 4. Bölüm, bulanık mantık tabanlı akıllı bir trafik sinyal kontrol modeli önermektedir. 5. Bölüm, simülasyon çalışmaları ve analizlerini sunmaktadır. 6. Bölüm, yapılan çalışmanın sonuçları hakkında bilgi vermektedir.

2. SUMO (Simulation of Urban Mobility) Benzetim Programı

SUMO benzetim programı açık kaynaklı, mikroskobik ve çok modlu bir trafik simülatörüdür [12]. Kullanıcının, belirli bir trafik talebinin belirli bir yol ağında nasıl performans gösterdiğini gerçekçi olarak simüle etmesine olanak tanır. Alman Havacılık ve Uzay Merkezi, 2001 yılında SUMO trafik simülatörünü geliştirmeye başladı ve o zamandan beri sürekli geliştirilmeye devam edildi. Farklı kaynak formatlarını okuyabilen yol ağı, talep oluşturma ve yönlendirme programlarını içeren bir trafik modelleme araçları paketi haline gelmiştir [13].

Bu çalışmada SUMO trafik simülatörünün kullanılmasının temel nedeni açık kaynaklı ve güvenilir olmasının yanı sıra gerçekçi bir simülasyon modeli olmasıdır. Şekil 1'de izole bir kavşaktaki karma araçlardan oluşan simülasyon modeli gösterilmiştir.



Şekil 1: SUMO kullanılarak karma araçlardan oluşan kavşak simülasyonu.

3. Trafik Sinyal Kontrol Yöntemleri

3.1. Sabit Zamanlı Trafik Sinyal Kontrolü

Sabit zamanlı trafik sinyal kontrolü (STSK), trafik akışındaki dinamik değişikliklerden bağımsız olacak şekilde kavşaklarda önceden belirlenmiş olan sabit süreli döngü uzunluğu ve yeşil faz sürelerine dayanır. STSK, trafik rejiminin yoğun ve düzenli olduğu genellikle izole kavşaklarda en uygun yeşil faz süresinin önceden belirlenmesi ile başarılı sonuçlar verse de trafik akışının ani dinamik değişkenliğine cevap veremediğinden yetersiz kalmaktadır [14].

3.2. Adaptif Trafik Sinyal Kontrolü

Adaptif Trafik Sinyal Kontrolü (ATSK), trafik akışındaki dinamik trafik değişiklik taleplerine cevap verebilen bir yöntemdir. ATSK'da araç dedektörleri kullanılmaktadır. Bu kontrol yöntemi yeşil faz süresi, faz sırası, döngü uzunluğu gibi parametreleri dinamik trafik talebine dayanarak optimize eder. Bu yöntem geleneksel diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermekte ve trafik sıklığının azaltılmasında önemli katkı sağlamaktadır [14].

Literatür çalışmaları incelendiğinde adaptif trafik sinyal kontrol alanında pek çok farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan biri, gecikme zamanlı trafik sinyal kontrolü kapsamında yer alan bir kuyruk temizleme stratejisidir. Bu strateji, bir yeşil faz döngüsünün, önceki kırmızı faz döngüsünden kaynaklanan kuyruktaki tüm araçların temizlenene kadar uzatılacağı anlamına gelir. Şu anki mesafe temelli kontrol sistemleri bunu kullanmaktadır: Bir yeşil faz aşaması sürerken, gelen araçların yol mesafeleri sürekli olarak izlenir. Bu mesafeler, minimum ve maksimum yeşil zaman sınırlamaları dikkate alınarak, bir kontrol algoritması tarafından yeşil faz süresini uzatmak veya mevcut yeşil fazı sonlandırmak üzere düzenlenir. Gecikme zamanlı kontrol sisteminde sonlandırma koşulu, önceden tanımlanmış olan kritik mesafeye göre ayarlanır. Bu durum, kuyruk uzunluğu tamamen sona erdiğinde ve önceki sürekli kısa mesafeler rastgele biçimde dağıtıldığında gerçekleşir. Bu şekilde, trafik kuyruk uzunluğunun azaltılmasıyla ortalama trafik bekleme süreleri en aza indirgenir [15]. Bu yöntem geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuç verse de çeşitli yapay zekâ yöntemleri ile adaptif trafik sinyal kontrolü daha da iyileştirilebilmektedir. Bu yöntemlerden biri de bulanık mantıktır. Bulanık mantık zor ve karmaşık problemlere kolay ve kullanışlı çözümü sayesinde geniş bir alana uygulanmaktadır. Genel olarak bulanık mantık; yapay zekâ, akıllı sistemler, robotik ve ulaşım sistemleri gibi mühendislik alanlarına uyarlanabilmesi ve geleneksel yöntemlere göre daha iyi performans sağlaması nedeniyle önemlidir.

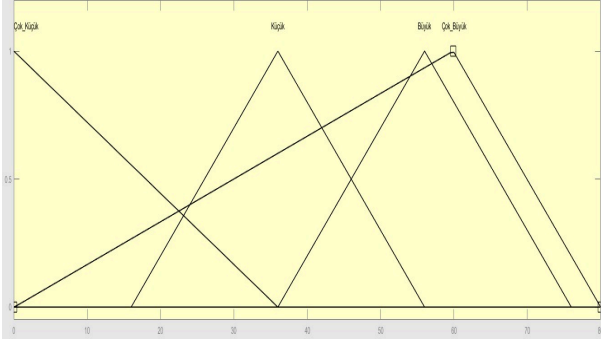
4. Önerilen Bulanık Mantık Modeli

Klasik Boole mantığında kullanılan “0” ve “1” değerlerinden farklı olarak geniş bir giriş ve çıkış değerleri aralığını temsil

edecek kontrol sistemlerine yönelik bir talep oluşur. Sistemin giriş ve çıkışlarının geniş bir değer kümesine uyum sağlayabilme olasılığı, sonraki tüm durumlar arasında uygun bir geçiş sağlar ve bu, bulanık mantık aracılığıyla sağlanır [16]. Klasik mantıkta sınıflandırmalar kesindir ve bir eleman bir kümenin ya elemanıdır veya değildir. Bulanık mantıkta ise bir eleman birden fazla kümenin elemanı olabilir. Bulanık mantıkta üyelik derecesiyle belirlenir. Klasik teoride sadece doğru veya yanlış vardır. Bulanık mantık teorisinde ise doğruluğun dereceleri vardır ve bunlar küçük, büyük, orta, az, çok az, çok, çok fazla gibi sözel dil değişkenleri ile ifade edilmektedir. Klasik mantıkta bir şey ya tamamen siyahtır ya da tamamen beyazdır. Bulanık mantıkta ise bir şey kısmen siyah ve kısmen beyaz şeklinde tanımlanabilir. Akıllı trafik ışığı kontrolü için dinamik ve karmaşık kontrol sistemlerinin tasarlanması söz konusu olduğunda bulanık mantık ön plana çıkmaktadır [14]. Bulanık mantık zor ve karmaşık problemlere kolay ve uygulanabilir çözümler sunmasıyla geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Bu çalışmada, bulanık tabanlı akıllı bir trafik sinyal denetleyicisi tasarlamak için beş giriş ve bir çıkıştan oluşan kontrol parametreleri belirlenmiştir. Bu araştırmanın temel amacı, izole bir sinyalizasyon kavşakta farklı araç tiplerinden oluşan kontrol sistemlerinde kavşak kapasitenin maksimum etkin kullanımını sağlamak olduğu için, söz konusu bulanık girdiler arasındaki ilişkinin önemini vurgulamak gerekir. Giriş parametreleri olarak, kırmızı şeritteki araç sayısı, yeşil şeritteki araç sayısı, kırmızı şeritteki araçların maksimum bekleme süresi, kırmızı şeritteki acil durum araçlarının sayısı ve yeşil şeritteki acil durum araçlarının sayısı tanımlanmıştır. Çıkış parametresi ise trafik ışık sinyalidir. Bulanık mantık denetleyicisinin çıktısı 0 ile 1 arasında bir ondalık değerdir. Sıfır çıktısı trafik kontrolörünün iyi durumda olduğunu, bir değeri ise kontrolörün değiştirilmesi gerektiğini gösterir. Simülasyon sonuçlarına göre çıkış değeri 0,3-0,7 aralığında elde edilmektedir. Elde edilen çıkış değeri 0.5'in altındaysa trafik ışığı mevcut faz durumunu değiştirilmeyecek, değilse değiştirilecektir. Tasarlanan bulanık mantık kontrolörü, Python Programlama dilinde ve Visual Studio Code kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmanın Python programlama dilinde yapılmasının en önemli nedeni SUMO trafik simülatörünün Python kodlama dili ile kolay ve diğer programlama dillerine göre daha uyumlu olmasıdır. Bulanık mantık denetleyicisi SciKit-Fuzzy (skfuzzy) kullanılarak uygulanmıştır. Önerilen kontrol yönteminde, SUMO trafik simülatörü ile Python haberleşmesi SUMO-TraCI (Traffic Control Interface) kullanılarak yapılmıştır.

Araçların ortama bekleme süresi üyelik değerleri Şekil 2'de ‘çok küçük’, ‘küçük’, ‘büyük’, ‘çok büyük’ şeklinde tanım aralıkları belirlenmiştir. Acil durum araç sayısı üyelik değerleri için; şeritteki acil durum araç sayısı 0 ise ‘yok’, şeritteki acil durum araç sayısı 1 ise ‘mevcut’; şeritteki acil durum araç sayısı ise ‘çok’ olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2: Araçların ortalama bekleme süresi üyelik değerleri.

4.1. Trafik Senaryoları

Trafik senaryoları çeşitli şekillerde yapılabilir. Bu çalışmada iki farklı senaryo için sabit zamanlı, gecikme zamanlı ve bulanık mantık tabanlı adaptif bir kontrol sistemi tasarlanmıştır. Bu senaryolar SUMO trafik simülöründe test edilmiştir. İlk senaryo, izole bir kavşakta ve şehir içi trafikte bulunan karma araçlardan oluşmaktadır. Araç tipleri olarak kamyon, tır, yolcu otobüsü, şehir içi otobüs, özel araçlar, bisiklet, motosiklet, VIP araç, kargo aracı, taksi ve ambulans olmak üzere 11 farklı araç tanımlanmıştır. Bu araç tipleri ve parametreleri Şekil 3'deki gibi gösterilmiştir. Bu senaryoda, bulanık mantık tabanlı, gecikme zamanlı ve geleneksel sabit zamanlı kontrol yöntemleri karşılaştırılarak incelenmiştir.

```
<routes>
<vType accel="2.6" decel="4.5" length="5.0" minGap="2.5" maxSpeed="200.0" sigma="0.5" vClass="private" id="private_car" />
<vType accel="1.2" decel="4.0" length="12.0" minGap="2.5" maxSpeed="85.0" sigma="0.5" vClass="bus" id="danfo" />
<vType accel="6.0" decel="10.0" length="2.2" minGap="2.5" maxSpeed="200.0" sigma="0.5" vClass="motorcycle" id="motorcycle" />
<vType accel="2.0" decel="4.0" length="14.0" minGap="2.5" maxSpeed="100.0" sigma="0.5" vClass="coach" id="bet" />
<vType accel="2.6" decel="4.5" length="5.0" minGap="2.5" maxSpeed="200.0" sigma="0.5" vClass="taxi" id="taxi" />
<vType accel="1.0" decel="4.0" length="18.75" minGap="2.5" maxSpeed="130.0" sigma="0.5" vClass="trailer" id="trailer" />
<vType accel="2.6" decel="4.5" length="6.5" minGap="2.5" maxSpeed="200.0" sigma="0.5" vClass="delivery" id="delivery" />
<vType accel="1.2" decel="3.0" length="1.6" minGap="2.5" maxSpeed="50.0" sigma="0.5" vClass="bicycle" id="bicycle" />
<vType accel="1.3" decel="4.0" length="7.1" minGap="2.5" maxSpeed="130.0" sigma="0.5" vClass="truck" id="truck" />
<vType accel="2.6" decel="4.5" length="6.5" minGap="2.5" maxSpeed="200.0" sigma="0.5" vClass="emergency" id="emergency" />
<vType accel="2.6" decel="4.5" length="6.5" minGap="2.5" maxSpeed="200.0" sigma="0.5" vClass="vip" id="vip" />

```

Şekil 3: Araç tipleri ve parametreleri

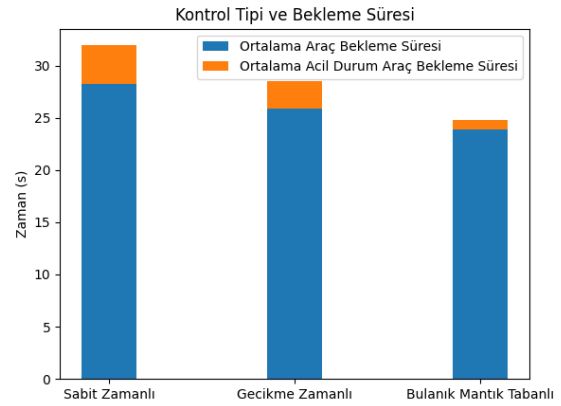
İkinci senaryo, izole bir kavşakta şehir içi trafikte bulunan sadece küçük araçlardan oluşmaktadır. Araç tipleri olarak bisiklet, motosiklet, şehir içi otobüs, VIP araç, özel araçlar ve yolcu araçları tanımlanmıştır.

İkinci senaryoda, uzun ve büyük araçların şehir içi trafik akışına etkisi incelenmiştir. Oluşturulan tüm senaryolar, geleneksel sabit zamanlı, gecikme zamanlı ve bulanık mantık tabanlı trafik sinyal kontrol yöntemlerine göre tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

5. Simülasyon Çalışmaları

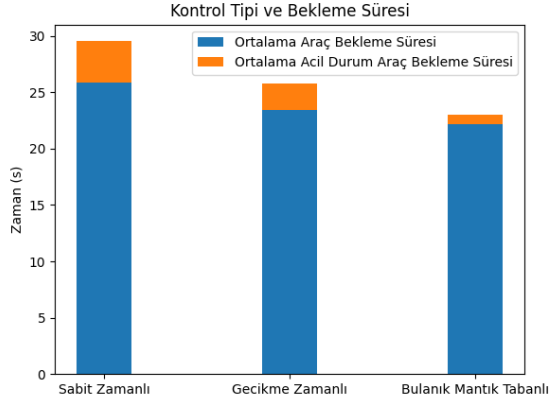
Geliştirilen algoritmaların deneysel araştırması SUMO araç hareket simülasyon sisteminde yapılmıştır. SUMO' da iki farklı senaryo uygulanmıştır. Bu çalışmada, uzun ve büyük araçların şehir içi trafiğe etkisi üzerine odaklanılmıştır. Her iki senaryo, önerilen bulanık mantık denetleyicisi, gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemi ve sabit zamanlı trafik kontrol sisteminde uygulanmıştır. Önerilen bulanık mantık tabanlı modelin performansı, geleneksel bir trafik ışığı kontrol sistemi

olan sabit zamanlı trafik sinyal kontrol yöntemi ile, ardından kuyruk uzunluğu politikasına dayanan gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, şehir içi trafik akışında önerilen bulanık mantık tabanlı küçük araçlardan oluşan modelin, geleneksel modele ve gecikme zamanlı kontrol yöntemine kıyasla gecikmeyi önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Senaryolarda 11800 araç üzerine çalışılmıştır. Değerlendirme kriteri olarak ortalama araç bekleme süresi dikkate alınmıştır. İlk senaryoda, izole bir kavşak için şehir içi trafikte bulunan büyük ve küçük araçlardan oluşan karma araç tiplerinden oluşmaktadır. Bu senaryo, önerilen bulanık mantık tabanlı yöntemin ortalama araç bekleme süresini azalttığını, geleneksel sabit zamanlı ve gecikme zamanlı trafik sinyal kontrol yöntemlerine kıyasla daha verimli bir sonuç elde edildiği gözlenmiştir. Şekil 4' de ortalama araç bekleme süresi ve ortalama acil durum araç bekleme süresi bakımından karşılaştırılması verilmiştir. Önerilen yöntemin geleneksel sabit zamanlı ve gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemlerine göre daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 4: İlk senaryo için sabit zamanlı, gecikme zamanlı ve bulanık mantık tabanlı trafik kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması.

İkinci senaryoda, uzun ve büyük araçların şehir içi trafiğe etkisine odaklanılmıştır. Şekil 5' de ikinci senaryo için sabit zamanlı, gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemi ve bulanık mantık tabanlı önerilen yöntemin ortalama araç bekleme süresi ve ortalama acil durum araç bekleme süresi bakımından karşılaştırılması verilmiştir. Önerilen yöntemin geleneksel sabit zamanlı ve gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemine göre daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 5: İkinci senaryo için zamanlı, gecikme zamanlı ve bulanık mantık tabanlı trafik kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, bulanık mantık tabanlı bir adaptif trafik sinyal kontrol yöntemi önerilmiştir. Farklı senaryolar uygulanmış ve senaryolar SUMO benzetim programı kullanılarak test edilmiştir. Önerilen model, geleneksel sabit zamanlı ve gecikme zamanlı trafik sinyal kontrol sistemleri ile karşılaştırılarak; önerilen yöntemin ortalama araç bekleme süresi ve ortalama acil durum araç bekleme süresini önemli ölçüde azalttığı gözlenmiştir. Trafik akışını kontrol ederek trafikteki gecikme sürelerini en aza indirerek şehir içi trafik sıkışıklığının azaltılabileceği gösterilmiştir. İkinci senaryo ile şehir içi trafik akışında uzun ve büyük araçların trafiği yavaşlatarak araçların ortalama gecikme sürelerini artırdığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda, karma araç tiplerinden oluşan ilk senaryoda, bulanık mantık tabanlı önerilen yöntem geleneksel sabit zamanlı trafik kontrol yöntemine kıyasla %15.39, gecikme zamanlı trafik kontrol yöntemine kıyasla %7.69 oranında ortalama araç bekleme süresini azaltmıştır. Buna ek olarak birinci ve ikinci senaryo karşılaştırıldığında, şehir içi trafik ağında büyük ve uzun araçların ortalama araç bekleme süresine etkisi bulanık mantık tabanlı yöntemde %7.11, geleneksel sabit zamanlı yöntemde %8.5 ve gecikme zamanlı yöntemde %9.8 oranında azalmıştır.

Gelecek çalışmalarda gerçek zamanlı veri seti ve farklı kontrol metotları ile çalışmalar yapılması hedeflenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışma için RAC-LAB' a (www.rac-lab.com) teşekkür eder.

Kaynakça

[1] Celtek, S. A., Durdu, A., & Ali, M. E. M. (2021). Evaluating action durations for adaptive traffic signal control based on deep Q-learning. *International journal of*

intelligent transportation systems research, 19(3), 557-571.

- [2] Garcia-Nieto, J., Olivera, A. C., & Alba, E. (2013). Optimal cycle program of traffic lights with particle swarm optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 17(6), 823-839.
- [3] Aleko, D. R., & Djahel, S. (2019, October). An IoT enabled traffic light controllers synchronization method for road traffic congestion mitigation. In 2019 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2) (pp. 709-715). IEEE.
- [4] McCrea, J., & Moutari, S. (2010). A hybrid macroscopic-based model for traffic flow in road networks. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 676-684.
- [5] Spall, J. C., & Chin, D. C. (1997). Traffic-responsive signal timing for system-wide traffic control. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5(3-4), 153-163.
- [6] Celtek, S. A., & Durdu, A. (2022). A Novel Adaptive Traffic Signal Control Based on Cloud/Fog/Edge Computing. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 20(3), 639-650.
- [7] Miletić, M., Ivanjko, E., Gregurić, M., & Kušić, K. (2022). A review of reinforcement learning applications in adaptive traffic signal control. *IET Intelligent Transport Systems*, 16(10), 1269-1285.
- [8] Chia, L., Wu, X., Dhaliwal, S. S., Thai, J., & Jia, X. (2017). Evaluation of actuated, coordinated, and adaptive signal control systems: A case study. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 143(9), 05017007.
- [9] Zeng, J., Hu, J., & Zhang, Y. (2018, June). Adaptive traffic signal control with deep recurrent Q-learning. In 2018 IEEE intelligent vehicles symposium (IV) (pp. 1215-1220). IEEE.
- [10] Garcia-Nieto, J., Olivera, A. C., & Alba, E. (2013). Optimal cycle program of traffic lights with particle swarm optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 17(6), 823-839.
- [11] Karakuzu, C., & Topal, E. (2019, September). Fuzzy Logic Based Traffic Control System in Bilecik Province. In 2019 4th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) (pp. 255-260). IEEE.
- [12] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., & Bieker, L. (2012). Recent development and applications of SUMO-Simulation of Urban MObility. *International journal on advances in systems and measurements*, 5(3&4).
- [13] Smith, D., Djahel, S., & Murphy, J. (2014, September). A SUMO based evaluation of road incidents' impact on traffic congestion level in smart cities. In 39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops (pp. 702-710). IEEE.
- [14] Muzamil Eltejani Mohammed Ali, Akıllı Şehirler için Koordineli Adaptif Trafik Sinyalizasyon Kontrolü, 2021, Doktora, Konya
- [15] Oertel, R., & Wagner, P. (2011, January). Delay-time actuated traffic signal control for an isolated intersection. In Proceedings 90th Annual Meeting Transportation Research Board (TRB).

- [16] Vogel, A., Oremović, I., Šimić, R., & Ivanjko, E. (2018, September). Improving traffic light control by means of fuzzy logic. In 2018 International Symposium ELMAR (pp. 51-56). IEEE.