

Trafik Tıkanıklığının Azaltılması İçin Öz-Örgütlenme Tabanlı Akıllı Trafik Optimizasyonu Yaklaşımı

Yüksel Çelik¹, Hakkı Soy²

¹ Karabük Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya
celik.yuksel@outlook.com.tr, hakkisoy@konya.edu.tr

Özet: Trafik yayalar, araçlar ve sinyaller gibi çok sayıda bileşenin birbirleriyle iletişimde bulunduğu karmaşık yapıda bir sistemdir. Bu sistemin daha verimli kılmak için son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle tek yönlü trafik akışını düzene sokmak için tasarlanmışlardır. Özellikle kavşak sayısı ve trafik karmaşıklığı arttığında mevcut çalışmalar trafik tıkanıklığı probleminin çözümünde etkinliklerini kaybederler. Bu çalışmada trafik akışının optimize edilmesi için öz-örgütlenme tabanlı akıllı sistemler araştırılmış ve bazı çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Trafik, Öz-Örgütlenme, Optimizasyon, Zekâ.

Self-Organization Based Intelligent Traffic Optimization Approach for Traffic Congestion Reduction

Abstract: Traffic is a complex structure system where large number components of such as pedestrians, vehicles and signals that are communicate with each other. To make this system more efficient, there are many studies have been made in recent years. These studies are generally designed to organize the one-way traffic flow. Especially, when the number of intersections and complexity of traffic increases, the existing studies lose their efficiency to solve the problem of traffic congestion. In this work, in order to optimize traffic flow, self-organization based intelligent systems are investigated and some solutions have been proposed.

Keywords: Traffic, Self-Organization, Optimization, Intelligence.

1. Giriş

Dünya nüfusu, gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut alt yapılar, artan nüfusla ortaya çıkan ihtiyaçları karşılamakta zorlanmaktadır. Karşılanamayan bu ihtiyaçların insan hayatı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için birçok alanda iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Nüfus artışına paralel olarak trafikteki taşıt sayısı da artmaktadır. Taşıt kullanımının artmasıyla birlikte, özellikle büyük şehirlerde, yoğun trafiğin ortaya çıkardığı birçok sorun, acilen önüne geçilmesi gereken bir hal almıştır. Trafik yoğunluğu, ulaşım süresinin artmasına, fazla yakıt tüketilmesiyle yüksek enerji maliyetlerine ve egzoz gazı salınımıyla çevre kirliliğine sebep olmaktadır.

Bilindiği gibi trafik sistemi çok sayıda akıllı bileşenin (sinyaller, araçlar, sensörler ve yayalar) yerel düzeyde bir biriyle iletişimi olan üst düzeylerde ortak davranışlar sergileyen, karmaşık bir sistemdir. Bu karmaşık sistemleri verimli hale getirilebilmesi için çalışmalar yapılmış olup, bunlar genellikle tek bir yöne doğru akan trafik akışını düzene sokmak için tasarlanmışlardır, kavşak sayılarının artması ile trafik karmaşıklığın artırması ile bunlar giderek verimsizleşirler ve trafik tıkanıklığına etkili çözüm getirememektedirler.

Trafik tıkanıklığı sorunlarının gidermek için son zamanlarda akıllı trafik merkezi kontrol sistemleri ve optimizasyon algoritmaları kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar trafikte bazı

iyileştirmeler yapmışlarsa da istenen sonuçlar elde edilememiştir.

2. Problemin Tanımı

Kentlerde trafik kavşaklarında yetersiz trafik ışığı kontrol sistemlerinin doğal sonucu olarak gereksiz gecikme ve zaman kayıpları meydana getirmektedir. Bir araba kavşakta hiçbir araç yokken yeşil ışık yanana kadar bekler. Trafikte araçlar kendi limitlerinde yol alırken her bir kilometreye yakın bir mesafede, trafik ışıkları için durmak zorunda kalmaktadırlar. Bir aracın kavşakta birkaç saniye erken varması ışık sinyalini tetikleyebilmekte ve anayolda seyir eden büyük trafik grubunun durmasına sebep olabilmektedir. Araçlar her gün böyle bir durumla karşı karşıya kalmaktadırlar. Trafik ışıklarının bu yetersizlikleri, sadece sürücüler için boşa zaman harcatması değil, ışıklarda rölan-tide çalışan motor, atmosfere salınan sera gazı emisyonların artırımına sebep olmaktadır.

2007 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde yapılan bir araştırmada 437 kentinde trafik tıkanıklığının sorun olduğunu ve bu sorunun giderek büyümeye başladığını ortaya koymuştur. Yapılan bu araştırmada trafik tıkanıklığının 4.2 milyar saat gecikmeye ve 2.8 milyar galon yakıt buda 8,7200,000,000 ABD Doları maliyetin boşa harcadığını ortaya koymuştur [1]. Türkiye’de başta İstanbul özellikle metropol şehirlerde trafik tıkanıklığı problemi çözülmesi gereken en acil problemlerin başında gelmektedir. Aydın 2013 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında, bir aracın İstanbul trafiğinde ortalama 45 dakika beklediğini tespit etmiştir. Bu beklemlerin sebep olduğu sorunlar arasında ulusal kaynakların tüketimi, zaman kaybı, yakıt israfı, verimliliğin düşmesi ve insanların psikolojik olarak zarar görmesinin yanında, yakıt ve zaman israfı yıllık 3 milyar 120 milyon dolar olarak hesaplanmıştır [2].

3. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, hali hazırda merkezi kontrol sistemleri ile yönetilen trafik sinyali-

zasyon sistemlerini, farklı bir yaklaşımla yerel düzeye indirgemeyi hedeflemektedir.

Burada her bir sinyalin öz-örgütlenme sistemi-ne optimizasyon algoritmalarının adapte edilmesiyle, trafik sensör verilerine (örneğin, araç hızı ve sayısı) göre her trafik sinyalinin komşu ve şebekedeki tüm sinyaller ile iletişimi elde edeceği bilgilerle yerel kararlar alabilmesini amaçlamaktadır. Bu sayede büyük problem halini almış trafik tıkanıklığının ve buna bağlı kayıpların en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

4. Literatür Taraması

İlk dört yollu üç renkli trafik lambaları 1920’ de kullanılmaya başlanmıştır [3]. O günden beri trafik üzerinde yapılan optimizasyon araştırmaları verimlilik için sürekli iyileştirmeler getirmiştir. Bunların ilk çalışmaları trafik ışıkları kontrolü üzerinde yapılan çalışmalardır. Klasik kontrol konseptine göre trafik ışıkları bir döngüsel operasyon gibi düşünülebilir, burada trafiğin periyodik olarak farklı yönlere aktığı kabul edilmiştir.

Döngü zamanı ve parametreleri, yeşil zamanının kavşaklar boyunca bölünerek tanımlanmasını ifade etmektedir. Bu parametreler [4-6] referanslarında geliştirilen formüllere göre seçilen parametreler ile trafik ışıklarının optimize edilebilmesi mümkün olmuştur. Gartner ve ark. komşu kavşaklar arasındaki koordinasyon, aynı döngü süresi içerisinde aralarındaki uzaklıklara uygun olarak ayarlamıştır. Burada parametreler ile belirli süreler ile sabit zamanlı olarak trafik optimize edilebildiğini göstermiştir [7].

Daha gelişmiş kavramlarla, Hunt ve ark. SCOT adını verdikleri yöntemle yavaş yada ortalama trafik talep varyasyonlarına bir adaptasyon hedeflemiştir [8]. Lowrie, SCATS adlı çalışma ile trafik sinyal planlamalarının online optimizasyonu geliştirmiştir. Burada esas olarak döngüsel trafik operasyonu paradigmasının değişkenlerine bağlı olarak çalışılmıştır [9]. Bando ve ark. her aracın hareket denkleminde dayalı

trafik sıkışıklığına için bir dinamik modeli önermişlerdir. Önerdikleri modelde her bir aracın harekete denkleme, önceki aracın yasal ilerleme hızı baz alınmıştır. Böylelikle trafik akışının kararlılığını ve trafik tıkanıklığını zaman bağı olarak gelişimini incelemişlerdir [10].

Trafik ışıkları kontrol çalışmalarından sonra trafiğe duyarlı stratejileri geliştirilmiştir. Bu sistem toplu taşımının öncelikli olduğu zamanlarda, trafik ışıklarının önceden planlanmış sinyal planlarına göre çalıştırmak uygun değildir. Burada taşımada, çok yolcu talebini karşılamak için öncelikle toplu taşımaya öncelik verildiği için trafik kontrolünün yüksek derecede esnek ve buna cevap vermeye açık olmaya olmalıdır. Smith ve ark 2005'te aktif ve dengeli öncelik verilmiş toplu taşımının bir ön koşul olarak, trafik ışıklarının yeşil zamanı kolay değişmesi ve yeşilin bir dizi farklı seçenekleri olması bir ön koşul olarak sunmuşlardır [11]. Son yıllarda, çeşitli trafiğe duyarlı kontrol stratejileri önerilmiştir. En yaygın olan yaklaşımlardan biri haddeleme-ufuk (Rolling horizon) optimizasyonu olarak isimlendirilir. Burada tekrarlayan sinyal anahtarlama dizilerinin yeniden optimizasyonun değişen trafik koşullarına göre sağlanmasıdır. Bu konuda çeşitli trafik ışıkları kontrol çalışmaları yapılmıştır: OPAC [12], PROLYN [13], UTOPIA [14], CRONOS [15], ALLONS-D [16] ve RHODES [17].

Genelde çalışmalar arasında farklı olarak trafik optimizasyon probleminin nasıl çözüldüğüdür. OPAC temelde çözüm uzayını sıralar, PROLYN etkili bir sezgisel tarama uygular ve ALLONS-D geri-izleme kullanarak bir karar ağacında arama yapar. Cai ve ark. 2009'da dinamik programlama tekniklerini online öğrenme teknikleri ile kombine ederek iyileştirmeler gerçekleştirmişler [18]. Aboudolas ve ark. saklama ve ileri modelleme yaklaşımı ve yeşil zamanlarının uzunluk sıralarını, esnek ayarlamalar dengelemeye çalışmışlardır [19]. Başka bir yaklaşım da kavşakların özerk olarak iyileştirilmesi için çok etkenli (multi-agent) sistemlerde, etkenlerin birbirleriyle olan işbirliği kullanmışlardır [20].

Başka bir yaklaşım otomatik ve organik hesaplama temelli olmaktadır. Burada trafik ışıklarının koordinasyonu, komşu kavşaklar arasındaki yerel iletişim ile sağlanmaktadır. Benzer bir senkronizasyon tekniği, kavşakların dinamik birleştirilmiş osilatörler olarak kabul edilmesidir [21]. Ayrıca bulanık mantık tabanlı trafik sinyalizasyon stratejileri kesin olmayan belirsizlikler veya belirsiz ile başa çıkmak için geliştirilmiştir [22]. Genetik algoritmalar, yakıt tüketimi ve gaz emisyonlarını azaltmak için çok amaçlı optimizasyon şeklinde ve yeşil ışık-dalgası-programların dinamik olarak yeniden optimizasyonunda uygulanmışlardır [23-24].

Son zamanlarda kompleks karar ağaçlarının değerlendirilmesi ve farklı anahtarlama sıralamalarında alternatif optimizasyon metodları önerilmiştir bunlardan biri trafik akışında dinamik öncelik belirleme tabanlı olanıdır [25]. Başka bir yaklaşımda, Lammer ve ark her bir akışın önceliği π ile hesaplanmaktadır, burada araçların hem sıra uzunlukları hem de beklenen varış zamanları dikkate alınır, burada yola giren ve çıkanların ölçümü yapılarak formüle dâhil edilmesi ile çözüm aranmaktadır. Burada beklenen gelen araçlardan farklı olmadığı varsayılırsa, π değerinin seviyesi trafik ışıklarının geçiş sırasını tanımlamak için kullanılmıştır. Bu sistemde kavşaktaki tüm araçların toplam bekleme sürelerini minimize etmek için, denetleyici, sadece en yüksek önceliğe sahip trafik akışına izin vermektedir. Lokal optimize teknikleri kullanıldığında, sinyal planları döngüsel trafik kontrol şemalarına dayanmayıp, ortalama trafik koşullarına göre gerçekleştirirler, ama bunlar asıl gerçek-zaman detektör verileri yerine yanıt verirler. Bu yerel talepler ve düzensizlikler ile ilgili olarak trafik kontrolünü daha sağlam ve esnek hale getirir [26].

Dağüstü yapmış olduğu tez çalışmasında kent içi trafiğinin kontrolünde önemli role sahip olan sinyalizasyon kavşakları için Webster metodu kullanılarak sinyal zamanlama algoritması geliştirmiştir. Önerdiği algoritma kullanılarak İstanbul'daki bazı sinyalizasyon kavşaklarının üzerinde uygulanmış-

tır. Uygulamada taşıt başına ortalama gecikme süresi, ortalama duruş sayısı, ortalama durma süresi, toplam CO ve NOx emisyonu, yakıt tüketimi, gözlenen bir saatlik süre içinde kavşağı terk eden taşıt sayısı ve toplam seyahat süresi alınarak kıyaslamalar yapmış ve geliştirdiği algoritmanın kavşakların performanslarında iyileştirmeler yaptığını göstermiştir [27].

Lämmer ve Helbing yaptıkları çalışmada sürekli yeşil ışık sağlamaya yönelik, merkezi olmayan dinamik zamanlı trafik ışık kontrolünü kendi kendine stabilize (self-stabilizing) metodu ile yerine getiren bir sistem önermişlerdir. Önerdikleri sistem sabit zamanlı trafik ışıkları ile kıyaslamalarında geliştirdikleri sistemin daha iyi performans gösterdiğini göstermişlerdir [28].

Ganji ve ark. Trafik tıkanıklığında, tıkanıklığın geçişi için diferansiyel dönüşüm metodu ile bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu modeli 4. Seviye Runge-Kutta metodu ile kıyaslayarak geliştirdikleri yöntemin başarı elde ettiklerini göstermişlerdir [29]. Litman Trafik tıkanıklığı Tahmini trafik tıkanıklığı maliyetleri ve potansiyel tıkanıklığı azaltma stratejilerinin değerlendirdiği raporunda, trafik sıklığı maliyet analizi etkileyen çeşitli faktörler açıklamış ve bu faktörlerin planlama kararlarını nasıl etkilediğini kapsamlı ve çok yönlü değerlendirmeler ile olası en iyi uygulamaları ortaya koymuştur [30].

Öz-örgütlenme sistemi kendi kendine organize olan ve tanımlanan kurallar çerçevesinde kendi başına karar veren parçalardan oluşan kompleks bir sistemi tanımlar. Optimizasyon algoritmaları olası seçenekler içerisinde amaç fonksiyona göre en uygun çözümü arar. Literatürde bu ikisinin adapte edildiği çalışmalar yapılmıştır. Whitacre evrimsel optimizasyon algoritmaları ile öz-örgütlenme sistemini adapte ettiği tez çalışması gerçekleştirmiştir. Önerdiği optimizasyon algoritmasını performansını görmek için bir dizi numerik sınırlamasız test ve mühendislik tasarım problemleri üzerinde uygulamıştır. Elde ettiği deneysel sonuçlar öz-örgütlenme sisteminin gelişim algoritmasına

adaptasyonu ile daha iyi performans elde ettiğini göstermiştir [31].

5. Araştırma Sorusu ve Hipotezler

Trafik sistemi çok sayıda akıllı bileşenin (yani, sinyalleri, araçlar, sensörler ve yayalar) yerel düzeyde bir biriyle iletişimi ve genel düzeyde de acil ortak davranışlar sergileyen, doğal olarak karmaşık bir sistemdir. Bu karmaşık sistemi verimli ve optimal hale getirebilmek için mevcut optimizasyon teknikleri sınıfı bir üst limite ne kadar çıkarılabilir; bunun için önemli ek kazanlar için bir paradigma değişikliği gerekli değil midir?

Şimdiye kadar mevcut sistemlerde mükemmel merkezi yönetim sistemleri ile sinyalizasyonlar yönetilmeye çalışılmıştır. Her bir kavşak sinyal sistemi merkezi yönetimle hareket eder. Oysaki her kavşak sinyal sistemi şebekedeki tüm sinyaller ve sensörler ile haberleştirilmesi ve bilgi alışverişi yapması değişen trafik akışına göre tıkanıklığı önlemek için en uygun kararı kendisinin verebilmesi daha iyi değil midir?

Öz-örgütlenme sistemdeki özellik sayısının arttıkça, sistemin hala mümkün uygun sonuçlar elde ediyor mu? Sorularına yanıt aranacaktır.

6. Dizayn- Yöntem ve Prosedürler

Öz-örgütlenme başka bir deyişle kendi kendine organize olma sistemi, öğrenebilen bir sistemin veriyi saklarken verileri dışarıdan müdahale edilmeden organize etmesi ve yeni gelen veriye göre oluşumu düzenleyebilmesi anlamına gelir [32].

Ancak sensörler ve iletişim teknolojilerindeki son gelişmeler (örneğin, gelişen ağ bağlantıları sensörler ile trafik ışıkları arasındaki iletişimin sağlanması) bilgiler artık kendi eylemlerini koordine etmek için trafik ışıkları arasında paylaşılabilir, trafik sistemleri içinde öz-örgütlenme ile daha etkin bir şekilde uygulanması ile bilgiler trafik ışıkları arasında yerle

düzeydeki aksiyonları için koordineli bir şekilde paylaşılabilir.

Bu çalışmada sadece trafik öz-örgütlenme modelleri oluşturulmamakta, aynı zamanda sistemi desteklemek için mevcut sensör teknolojilerinin etkilerini inceleyip bilgi toplamayı hedeflemekteyiz. Son zamanlarda tasarlanmış gelişmiş sensör (örneğin, araç sensörler) verileri kullanılmasının yararları olacaktır [33]. Burada sinyal optimizasyonu için standart ve standart olmayan farklı yaklaşımları incelemesinde, şaşırtıcı bir şekilde rastgele zamanlı sinyallerin sabit zamanlı sinyallerden daha iyi olduğunu tespit edilmiştir. Daha önemlisi, geliştirilen temel öz-örgütlenme algoritması rastgele veya sabit zamanlı algoritmalarından daha etkili sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar öz-örgütlenme ile optimizasyon algoritmalarının, trafik kontrolünün iyileştirilmesi doğrultusunda büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Aynı sayıda trafik ve koşulların gösterildiği Şekil 1'de, Solda: Sabit zamanlı kontrol 120 saniyelik bir döngü süresi ile Batı'dan Doğu'ya seyahat düzenli yeşil dalgaları uygulanmış. Sağ: Öz-kontrol ile esnek sinyal zaman sistemi ile daha yüksek bir frekansta kısa aralıklarla çok fazla yeşil yanmaktadır ve böylece, ortalama seyahat süreleri önemli ölçüde azaltılmıştır.

Önerilen projede modellerin geliştirilmesi için, simülasyonlar, algoritmalar ve trafik ağlarının kendi kendine organize rolleri için zemin hazırlanmaktadır. Burada her bir sinyal sadece yakın komşuları yerine şebekedeki tüm sinyaller ile iletişim kurar. Sinyaller dış müdahale olmadan değişen koşullara göre otomatik olarak kendisi bir karar oluşturur ve uygular. Burada değişen koşullara (engelli aracı ya da tehlikeli hava koşulları gibi öngörülemeyen trafik karmaşıklığına) otomatik olarak tepki verebilmesi trafiği iyileştirebilir.

Tüm trafik sinyalleri merkezi kontrol birimi ile bilgi alışverişi sağlamak yerine, yereldeki her bir sinyalin analiz bilgileri dağıtılarak trafik

yükünün dengelenmesi ve gecikmelerin azalması sağlanabilir. Her bir sinyal komşuları ile yerel düzeyde bilgi paylaşarak zaman içinde global bir senkronizasyonunu ortaya çıkarır, buda araç gecikmelerinin azaltılması ile rölanti, emisyon, yakıt tüketimi ve sürücü hayal kırıklığını azaltmaya sebep olacaktır.

Doğada, pek çok karmaşık sistemlerin öz-örgütlenme ile çok verimli bir şekilde çalışmaktadır. Örneğin karıncalar, harici kontrol yönlendiricilerinin etkisi olmadan, gelişmiş kolektif davranışlar ile kendi kendilerini organize eden sosyal böceklerdir [34]. Bir karıncanın bilgilere erişimi sınırlıdır ve davranış repertuarı 10-40 temel davranışları ile sınırlıdır. Ancak, karıncalar gruplar halinde gelişmiş kolektif davranışlar ne açık iş bölümü tüm koloninin başarısına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bu görevler bir kısmı yiyecek toplarken bir kısmı yumurtaları korumak, yuvar kurmak ve dış tehditlere karşı yuvayı korumaktır yapılmıştır [35].

Öz-örgütlenmenin sırrı: her bir organizmanın basit kuralları takip etmesi ve yakın komşularından elde ettiği yerel bilgiler temelinde kararlar alabilmesidir. Bu birliktelik, tüm sürünün karmaşık görevlerini yapar. Böyle bir sistemin avantajı basitliğidir ve burada yerel uygulanan bir kaç temel kuralın, global düzeyde etkili sofiştike davranışları elde edilmesidir. Bundan çıkarılacak anahtar sonuç uygun kuralların bulunması gerekliliğidir. Sosyal canlıların benzer davranışları, bir öz-örgütlenme trafik sistemi, trafik şebekesindeki basit lokal komşu bilgilerinden her bir sinyalin davranışlarını ayarlayarak global düzeyde senkronizasyonun oluşturabilmektedir. İnsanlar tarafından oluşturulan kompleks sistemler doğanınkinden farklıdır. Doğal sistemler hassas, önceden belirlenmiş ve öngörülebilir global sonuçları varken, çoğu insan yapımı sistemlerin kesin olmayan, öngörülemeyen ve kaotik davranışlar ile karşı karşıya kalabilmektedir.

İnsan yapımı karmaşık sistemlerde, merkezi kontrol ile zorlamak yerine kendi içsel nitelik-

leri ve davranışları içinde doğal durumları ile kontrol edilmesi daha uygundur. Doğal sistemlerde var olan bu anlayış bize karmaşık sistemlerin yönetiminde karşılaşılan bazı zorlukları çözmede yardımcı olacaktır.

Çoğu zaman toplu taşıma araçlarının kullanıldığı büyük şehirlerde trafik tıkanıklığı önleyici çeşitli düzenlemeler bulunmaktadır. Bu alanlar kendi kendine organize trafik sistemi test ve eğitim için verimli bir zemin sunuyor. Ayrıca geliştirilen algoritmaların testi ve dağıtımı ile ilişkili küçük aksaklıklara dayanabilirler. Hiç kuşku yok ki İletişim ve sensör teknolojileri yeterince gelişmiştir ki böyle bir sistemin sınırlarına gebe değiliz ayrıca gerçeğe dönüştürebilmektedir.

7. Kısıtlama ve Sınırlamalar

Araştırma gerçekte uygulanabilmesi ve test edilebilmesi trafiği tıkanık ve kalabalık bir şehirde sağlıklı gözlemlenebilir. Test ortamında ve küçük yerleşim birimlerinde yapılan gerçek alan çalışmaları, trafik tıkanıklıklarının yaşandığı ve çok karmaşık olan şehirlerde ön görülemeyen unsurların fark edilmemesine sebep olabilir.

Olası trafik kontrolü için öz-örgütlenme sisteminde kusurlu kurallar olasıdır. Trafik kontrolü için öz-örgütlenme kuralları çerçevesinde kusurları mümkündür burada tehlikeli trafik koşulların sebeplerin tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu gelişmeye, bireylerin uyum sağlama ihtiyacı olabilir - sürücülerin trafik tıkanıklığı ve sinyal zamanlama kavşağa ulaştığında bir yeşil ışık alması gibi temel hızları ayarlayabilmek için otomobillerde hız kontrol cihazları kurulması gerekebilir.

Trafik kontrol ile karmaşık sistemleri ilişkilendirmek ile etkileşimli ve davranışlar için uygun kurallar geliştirilmek zor bir girişim olabilir.

Bu iş için daha geniş etkileri vardır - kentsel planlamanın yorumlanması ve trafik kurallarının değiştirilmesi gerekebilir.

8. Araştırmanın Önemi ve Sonuç

Bilimsel ve günlük hayatta trafik sinyallerinin, öz-örgütlenme sistemi ile optimizasyon algoritmalarını adapte edilmesi ile getirilecek çözümler, mevcut trafik kontrol mekanizmaları için bir devrim niteliğini taşımaktadır ve beklentilerin ötesinde sonuçlar elde edecek potansiyele sahip olduğuna inanıyoruz. Trafik şebekelerinde mevcut altyapılar üzerinde çok büyük mali yükümlülükler getirmeden trafik sıkışıklığını ve tıkanmalarını aza indirmesi doğrudan boşa harcanan zaman, yakıt, hava kirliliği ve iş gücü maliyetlerine çok olumlu etkileri olacaktır.

5. Kaynaklar

[1] **Schrank, David.** 2009 URBAN MOBILITY REPORT. Texas, ABD : Texas Transportation Institute, 2009.

[2] **Aydın, Ömer Faruk.** Çalışma alanı trafik yönetim stratejilerinin değerlendirilmesi: FSM köprüsü durum analizi. İstanbul : Boğaziçi Üniversitesi, 2013.

[3] **Bono, Edward De.** Eureka!: Illustrated History of Inventions from the Wheel to the Computer. London : Thames & Hudson Ltd, 1974.

[1] **Webster, F.V.** Traffic Signal Settings. s.l. : Road Research Technical Paper 39, 1958. s. 1-44.

[4] Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals. **Miller, A.J.** 4, 1963, Operational Research Quarterly, Cilt 14.

[5] The Synchronization of Traffic Signals by Mixed-Integer Linear Programming. **Little, J.D.C.** 4, 1966, Operations Research, Cilt 14, s. 568-594.

- [6] Optimization of Traffic Signal Settings by Mixed-Integer Linear Programming Part I: The Network Coordination Problem. **Gartner, N.H., J.D.C. Little, H. Gabbay.** 4, 1975, Transportation Science, Cilt 9, s. 321-343.
- [7] **Hunt, P.B., et al., et al.** SCOOT: a traffic responsive method of coordinating signals. Crowthorne : Transport and Road Research Laboratory, 1981.
- [8] SCATS - principles, methodologies, algorithm. **Lowrie, P.R.** London : s.n., 1982. IEEE International Conference on Road Traffic Signalling.
- [9] Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation. **Bando, M., et al., et al.** 2, 1995, Physical Review E (Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics), Cilt 51, s. 1035-1042.
- [10] **Smith, H.R., Hemily, B. ve Ivanovic, M.** Transit Signal Priority: A Planning and Implementation Handbook. ITS America. 2005.
- [11] OPAC: A demand-responsive strategy for traffic signal control. . **Gartner, H.N.** 1983, Transportation Research Record 906, s. 75-84.
- [12] The PRODYN Real Time Traffic Algorithm. **Henry, J.J., Farges, J.L. ve Tufal, J.** Baden : s.n., 1983. 4th IF A C/IFIP/IFORS International Conference on Control in Transportation Systems. s. 307-311.
- [13] Utopia. **Mauro, V. ve Taranto, C.** Paris, France : s.n., 1990. Proceedings of the Sixth IFAC/IFIP/IFORS Symposium on Control and Communication in Transportation.
- [14] Optimal signal control of urban traffic networks. **Boillot, F., J.M. Blossville, J.B. Lesort, V. Motyka, M. Papageorgiou, S. Selam.** 1992. Sixth International Conference on Road Traffic Monitoring and Control. Cilt 355, s. 75-79.
- [15] A decentralized scheme for real-time optimization of traffic signals. **Porche, I., et al., et al.** 1996. Pro-ceedings of the 1996 IEEE International Con-ference on Control Applications. s. 582-589.
- [16] A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis. **Mirchandani, P. ve Head, L.** 6, 2001, Transportation Research Part C, Cilt 9, s. 415-432.
- [17] Adaptive traffic signal control using approximate dynamic programming. **Cai, C., Wong, C.K. ve Heydecker, B.G.** 5, 2009, Transportation Research Part C, Cilt 17, s. 456-474.
- [18] Store-and-forward based methods for the signal control problem in large-scale congested urban road networks. **Aboudolas, K., Papageorgiou, M. ve Kosmatopoulos, E.** 2, 2009, Transportation Research Part C, Cilt 17, s. 163-174.
- [19] Opportunities for multiagent systems and multiagent reinforcement learning in traffic control. **Bazzan, A.L.C.** 3, 2009, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Cilt 18, s.) 342-375.
- [20] Decentralised control of material or traffic flows in networks using phase-synchronisation. **Lammer, S., et al., et al.** 1, 2006, Physica A, Cilt 365, s. 39-47.
- [21] Review of the fuzzy logic based approach in traffic signal control. **Rahman, S.M. ve Ratrouf, N.T.** 5, 2009, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, Cilt 9, s. 58-70.
- [22] Stochastic optimization for sustainable traffic signal control. **Park, B., Yun, D. ve Ahn, K.** 4, 2009, International Journal of Sustainable Transportation, Cilt 3, s. 263-284.

- [24] Travolution - adaptive urban traffic signal control with an evolutionary algorithm. **Braun, R., Kemper, C. ve Weichenmeie, F.** Stuttgart : s.n., 2008. Proceedings of the 4th International Symposium "Networks for Mobility".
- [25] Self-control of traffic lights and vehicle flows in urban road networks. **Lammer, S. ve Helbing, D.** 2008, Journal of Statistical Physics, s. 4-19.
- [26] Anticipative control of switched queuing systems. **Lammer, S.; Donner, R; Helbing, D.** 2007, The European Physical Journal B 63(3), s. 341-347.
- [27] **Dağüstü, Hamza Şamil.** Trafik yönetiminde kavşak trafiğinin kontrolü için bir sinyal zamanlama modeli . İstanbul : Yıldız Teknik Üniversitesi , 2010.
- [28] **Lämmer, Stefan ve Helbing, Dirk.** Self-Stabilizing Decentralized Signal Control of Realistic, Saturated Network Traffic . New Mexico, ABD : Santa Fe Institute, 2010.
- [29] Differential transform method for mathematical modeling of jamming transition problem in traffic congestion flow. **Ganji, S. S., et al., et al.** 1, 2012, Central European Journal of Operations Research, Cilt 20, s. 87-100.
- [30] **Litman, Todd.** Factors to Consider When Estimating Congestion Costs and Evaluating Potential Congestion Reduction Strategies. Victoria, Canada : Victoria Transport Policy Institute, 2013.
- [31] **Whitacre, James M.** Adaptation and Self-Organization in Evolutionary Algorithms. New South Wales, Avustralya : The University of New South Wales, 2007.
- [32] **F., Heylighen.** Complexity and Self-organization in Encyclopedia of Library and Information Sciences. s.l. : CRC Press, 2009.
- [33] **Goel, Sanjay.** Understanding the implications of a self-organized traffic grid. Albany, Newyork : s.n., 2010.
- [34] Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. **Dorigo, M ve Gambardella, L.M.** Université Libre de Bruxelles Belgium : s.n., 1996. TR/IRIDIA/5.
- [35] An Improved Ant System Algorithm For The Vehicle Routing Problem. **Bullheimer, B., Hartl, R.F. ve Strauss, C.** 1997, Annals of Operations Research, Cilt 89, s. 319-328.
- [36] Organic traffic light control for urban road networks. **Prothmann, H. ve Branke, J.** 3, 2009, International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, Cilt 2, s. 203-225.
- [37] **Heylighen, F.** Complexity and Self-organization in Encyclopedia of Library and Information Sciences. s.l. : CRC Press, 2009.