

Trafik Işıklarının Optimum Planlaması için Çizge Tabanlı Çözüm Önerisi

Hilal TEKGÖZ¹, Neslihan KOLUKISA², Murat KARABATAK^{3*}

¹ Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² HAVELSAN, Çankaya/Ankara, Türkiye

³ Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ hilaltekgoz@outlook.com.tr, ² nkolukisa@havelsan.com.tr, ³ mkarabatak@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 08/08/2020;

Kabul/Accepted: 22/02/2022)

Öz: Dünyadaki modern şehirler kültür, coğrafya ve nüfus bakımından benzersiz karakterlere sahip olmalarına rağmen ortak özelliklerinden biri yoğun kavşakları ve bu kavşaklardaki trafik akışının kontrol edilme gereksinimidir. Bu özellik nedeni ile kavşak tipi seçiminde ve kavşak tipinin tasarımında trafik güvenliği kriterleri oldukça önemli bir unsurdur. Trafik güvenliği kriterlerinden biri de kavşağın işletim performansındır. Bu nedenle akıllı ulaşım sistemlerinde trafik akışının düzenlenmesi, dinamik ve proaktif trafik kontrolünü desteklemek ve trafik yönetim planı yapmak için oldukça önemlidir. Trafik ışıkları da trafik yoğunluğunu düzenleyen sistemlerden biridir. Trafik ışıkları özellikle trafiğin yoğun olduğu kavşaklarda trafik akışını düzenlemek için kullanılmaktadır. Bu yönü ile trafik ışıkları hayatı kolaylaştırır ve zaman kazandırır son derece yararlı bir teknolojidir. Fakat çoğu durumda hangi trafik akışlarının aynı anda hareket edeceği, hangi akışların kırmızı ile durdurulacağı veya yeşil ile sürdürüleceği ve durdurma veya sürdürme işlemlerinin ne kadar olacağı belirlenmesi oldukça zordur. Bu sorunun üstesinden gelmek için bu makalede çizge tabanlı bir çözüm önerisi sunulmaktadır. Çizgeler; gerçek dünya problemlerini matematiksel yöntemlere çevirmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada aralık çizgesi ve dairesel yay çizgesi kullanılarak probleme çözüm sunulmuştur ve dört yönlü ve 12 akışlı bir trafik kavşağının optimum düzeyde modellenmesi gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Trafik Işıkları, Çizge, Dairesel Yay Çizgesi, Optimum Trafik Kavşağı.

Graph Based Solution for Optimum Planning of Traffic Lights

Abstract: Although modern cities in the world have unique characteristics in terms of culture, geography and population, one of their common features is their busy intersections and the need to control the traffic flow at these intersections. Because of this feature, traffic safety criteria are very important factor in the selection of the intersection type and the design of the intersection type. One of the traffic safety criteria is the operational performance of the intersection. For this reason, regulation of traffic flow in smart transportation systems is very important to support dynamic and proactive traffic control and to make a traffic management plan. Traffic lights are one of the systems that regulate traffic density. Traffic lights are used to regulate traffic flow, especially at intersections with heavy traffic. With this aspect, traffic lights are an extremely useful technology that makes life easier and saves time. However, in most cases it is very difficult to determine which traffic flows will move at the same time, which flows will be stopped in red or resumed in green, and how long the interruptions or resumptions will be. In this article, graph-based solution was proposed to overcome this problem. Graphs; it is one of the methods used to translate real world problems into mathematical methods. In this study, a solution for the problem is presented by using the interval graph and circular arc graph, and the results obtained by performing the optimum modeling of a four-way and 12-flow traffic intersection are evaluated.

Key words: Traffic Lights, Graph, Circular Arc Graph, Optimum Traffic Junction.

1. Giriş

Trafik yönetimi, ulaşım hizmetlerinin önemli bir parametresidir. Bu nedenle trafik akışını yöneten ve düzenini sağlayan bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Trafik yönetimini sağlayan sistemlerden birisi de trafik ışıklarıdır. Trafik ışıkları, trafikteki araçların veya yayaaların geçişlerini kontrollü yapmasını sağlayan teknolojik araçlardır. Bu ışıklar, araçların farklı taraflardan kontrollü bir biçimde sürüşe devam etmesi veya durması gerektiğini belirtmektedir.

Trafik ışıkları günlük yaşantının bütünleyici unsurlarından biridir. Trafik ışıklarının kullanılması sayesinde trafik verimli ve güvenli bir şekilde yönetilmekte, aynı zaman da zaman ve enerji konusun da tasarruflar sağlanmaktadır. Her gün kırmızı ışıkta ve yavaş akan trafikte bekleyen binlerce insan bulunmakta ve binlerce saat boşa harcanmaktadır. Trafikte harcanan süreyi en aza indirmek için trafik ışıkları sisteminin nasıl davranacağını

* Sorumlu yazar: mkarabatak@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5469-5125, ² 0000-0002-0695-8848, ³ 0000-0002-6719-7421

belirleyen bir model oluşturmak mümkündür. Bununla birlikte, yol düzeni, trafik hacmi gibi birçok parametre olduğu için genel olarak bir modelleme yapmak çok zordur [1].

Çizge teorisi, gerçek dünya problemlerinde etkin çözümler sunan önemli bir çalışma konusudur. Çizge teorisinin uygulamaları modern hayatın karmaşık ve geniş kapsamlı birçok probleminin çözümü için kullanılmaktadır. Bu uygulamalar; ekonomi, yönetim bilimi, bilgi iletimi ve trafik ışıkları gibi alanları kapsamaktadır. Çizge çalışmalarının en önemlilerini gezgin satıcı ve gezgin alıcı problemleri oluşturmaktadır [2, 3]. Bu çalışmalar, çizge düğümlerini oluşturan şehirlerin yönlendirilmiş kenarları ifade eden güzergahlara bağlandığı bir optimizasyon problemidir. Bu problemler haricinde de literatürdeki birçok çalışmada çizge tabanlı çözümler yer almaktadır. Assadian ve ark. [4] yaptıkları çalışmada, dağıtım sistemlerinin güç kaybını ve voltaj profiline artırılması için ağı yeniden yapılandırılmasına yönelik çizge teorisi ile işbirliği içinde olarak bir çalışma sürdürmüşlerdir. Bu çalışma sonucunda çizge teorisi kullanarak ağı yeniden yapılandırarak dağıtım sistemindeki kayıpların azaltılabileceğini ve bunun sonucunda da enerji tasarrufu yapılabileceğini ortaya çıkarmışlardır. Velitchko ve ark. [5] tarafından yapılan başka bir çalışmada da, kentsel alanlardaki su dağıtım şebekelerinin analizi hakkında çizge teorisi tabanlı algoritmalar kullanılmıştır. Bu çalışma, bir ağ düzenindeki bağımsız sektörlerin sayısını, her bir sektöre ait düğüm kümesini, bağlantısı kesilmiş düğüm kümesini ve kaynağa düğüm katkısını elde etmek için çizge teorisine dayalı türden algoritmalar sunmuştur. Bu algoritmalar için AutoCAD tabanlı bir sistem kullanmışlardır. Önerilen algoritmalar, iki şehirde gerçek sektör projesi olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Li Ding ve Zhi-Hong Guan [6], kablosuz sensör ağlarının kritik bir sorunu olan ağ düğümleri içindeki sınırlı enerji kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada sensör ağların modellenmesinde enerjinin iyi bir şekilde kullanılması gerektiği için çizge teorisi kullanarak yeni bir kablosuz sensör ağ modeli önermişlerdir. Ayrıca, modeli iyileştirmek için bir algoritma önermişler ve sonuç olarak ağların ömrünün uzadığı sonucuna varmışlardır. Enerji tüketimini, Markov süreci ile analiz edilmiş ve bu sonuçlar simülasyon ile uygulamışlardır.

Çizge kullanımı, çok yaygın bir kullanım ağına sahip olmakla beraber, şehirlerde trafik ışıkları kontrolü için de literatürde birçok araştırmada çalışılmıştır. Bu araştırmalardan biri Chanun Lewchalermvongs [7] tarafından yapılan çalışmadır. Yapılan çalışmada, trafik ışıklarının aşamalandırılmasında ve tek yönlü sokak problemine çözüm geliştirilmesinde çizge teorisi kullanılmıştır. Bu çalışmada çizge teorisinin temelini oluşturan Königsberg'in yedi köprü problemi ve Hampton sarayındaki labirent problemi göz önüne alınarak altı akışlı bir kavşak modellenmiştir ve uygulanabilir yeşil ışık atamaları tanımlanmıştır. Literatür taramasında en güncel çizge çalışmalarından biri de Marpaung ve Ritonga [8] tarafından yapılan çalışmadır. Endonezya'daki trafik sıkışıklığı problemine çözüm olarak düğüm renklendirme uygulaması ile çizge yaklaşımının kullanıldığı çalışmada yeşil ve kırmızı ışık sürelerinin en optimum düzeyde ayarlanması amaçlanmıştır.

Trafik ışıklarının organizasyonu için de çizge tabanlı yöntemlerin uygulanması mümkün olabilmektedir. Bu konuda literatürde çeşitli çalışmalar [9-20] mevcut olup bu çalışmalar hem problemi farklı yönleri ile ele almış hem de farklı kavşak noktalarında uygulamalar gerçekleştirmişlerdir.

Çizgede noktalar trafik akışlarını, kenarlar ise uyumlu akışları belirtmektedir. Tehlikeli sonuçlara yol açmayan ve aynı anda hareket edebilen iki trafik akışı birbiri ile uyumlu olarak nitelendirilmektedir. Genel olarak trafik ışıklarında kullanılan çizge yöntemi dairesel yay çizge teorisidir. Dairesel yay çizgesinin de uyumlu trafik akışları çakışan yaylar ile gösterilmektedir. Uyumlu akışlar, belirli bir daire üzerindeki yayların kesişim kümesi denilebilir [9].

Dairesel yay çizgeleri ile ilgini en önemli çalışmalardan biri Lin ve Szwarcfiter tarafından yapılan dairesel yay çizgeleri ve alt çizgelerinin karakterizasyonu çalışmasıdır [11]. Bu çalışmada dairesel yay grafikleri detaylı incelenmiş ve alt çizgelere yönelik teoremler verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan, dairesel yay çizgelerinin trafik ışıklarının kontrolünde kolaylıkla kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Trafik ışıklarının kontrolüne yönelik olarak kullanılan çizge türlerinden bir diğeri de aralık çizgeleridir. Gardi [12] aralık çizgeleri ile düzgün ve düzenli aralık çizgelerini çalışmasında detaylandırmış ve önemini vurgulamıştır. Bu çalışmada verilen bilgiler ışığında, aralık çizgelerinin trafik ışıklarının kontrolünde önemli bir rol oynayacağı görülmektedir.

Tanveer [13], trafik ışıklarının planlanması problemine, uygun çizge modellerinin uygulanmasına yönelik bir uygulama yapmıştır. Yapılan bu çalışmada, uygun çizge türlerinden kapsama alt çizgesi ve dairesel yay çizgesi türleri üzerinde durmuştur. Trafik ışıklarında bekleme süresini minimuma indirmeye üzerine yapılan bu çalışmada hem çizgelerin kullanımını açıklamış hem de uygun sonuçlar elde etmeyi ağlamıştır.

Setiawan ve Budayasa [15] yaptıkları çalışmada, kavşak noktalarında bulunan trafik ışıklarının kontrolü için çizge tabanlı bir uygulama yapmışlardır. Çizge teorisinin trafik ışık sistemlerine uygulanabilirliğine yönelik olarak yapılan bu çalışmada, her bir trafik akışının çalışma süresinin en aza indirilmesi gibi gerekli koşullar oluşturularak tüm akışların toplam süresi şeklinde bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu modelin çözümünün, maksimum

toplam çalışma süresi biçiminde olduğunu ve her kavşaktaki yoğun saate bağlı olarak saatte gerçekleşen trafik yoğunluğundan etkilendiğini uygulamalarında göstermişlerdir.

AK Baruah ve N Baruah [16], bir uyumluluk grafiğinin Sinyal Grupları, trafik akışları arasındaki çatışmayı çözmek için kullanılır ve bu nedenle bir kavşaktaki trafik kontrol sorunu için bir çözüm olarak kullanılabilir. Bu yazıda, uyumlu grafiğin kliklerini sinyal grupları olarak ele aldık ve aynı anda bir kavşakta hareket edebilen sinyal grupları kümesi bir fazda alındı. Trafik ışıklarının fazlandırılması, döngü süresinin bu fazlar arasında bölünmesiyle yapılır, böylece her bir sinyal grubunun döngüde bir kez hareket etmesine izin verilir.

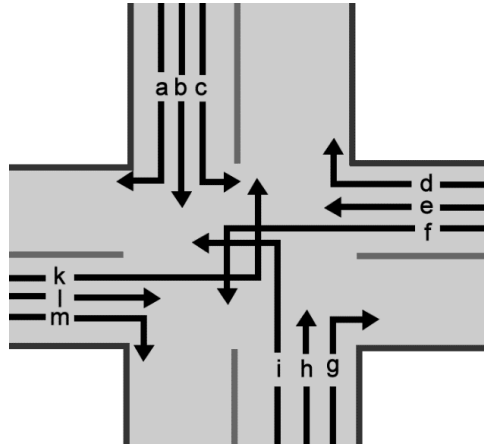
Baruah [17] yaptığı diğer bir çalışmada ise yine çizge bağıntısının trafik ışıklarının düzenlenmesinde kullanılması gerektiğine vurgu yapmıştır. Bir trafik kavşağı için en uygun çizgenin, minimum kenar veya minimum köşe sayısını kullanarak trafik akışını maksimum kapasitesine yönlendirmek için en verimli rotayı veya trafik kontrol sistemini oluşturmak için kullanıldığını göstermiştir. Çalışmanın sonucunda elde ettiği sonuçlar, trafikteki bekleme sürelerini ve trafik verilerini toplamak için sensörlerin yerini belirleme maliyetini en aza indirmeye yönelik olup ayrıca bir kavşakta trafik kontrol problemlerinde uygulama alanı bulunduğunu göstermiştir. Firouzian ve Jouybari [20] ise yaptıkları çalışmada bulanık çizge renklendirmesi ve trafik ışığı problemini ele almışlardır. Özellikle bulanık çizgelerin önemini çalışmalarında vurgulayan araştırmacılar bu çizge türü ile trafik ışıklarını modellemiş ve probleme bu şekilde yaklaşarak olumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu çalışmada da, dört yönlü ve 12 akışlı bir trafik kavşağı ele alınarak optimum düzeyde modellenmesi ve trafik akışının kontrolü sağlanmıştır. Bu işlem gerçekleştirilirken çizge teorisinde faydalanılmış çizge türlerinden aralık çizgesi ve dairesel yay çizgesi kullanılarak trafik ışığı problemine çözüm sunulmuştur.

2. Problem Tanımı

Trafik, her ülkede artan araç sayısından dolayı karşılaşılan temel sorunlardan biridir. Bu nedenle, trafikte oluşan yoğunluğu giderebilmek için trafik kontrol algoritmasını en üst düzeye çıkarma ve optimize etme ihtiyacı doğmaktadır. Kentsel alanlarda trafiğin bir bölgesi, diğer bölgesini dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Örneğin bir kırmızı ışıktaki araç oranı fazla olduğu gözlemlendiğinde, bu ışığı takip eden diğer kırmızı ışıkta da araç oranının fazla olacağı anlamına gelmektedir.

Yeni yollar eklemeyen karayolu altyapılarını değiştirmenin alternatifi olarak, sadece belirli bir bölgedeki trafik verileri kullanılarak, trafik çıktısını iyileştirmek mümkün olabilmektedir. Buradaki önemli olan husus doğru verilerin, doğru bir şekilde kullanılmasıdır. Bu nedenle etkin senkronizasyon stratejilerinin tasarlanması gerekmektedir. Çizge teorisinin özellikleri kullanılarak, trafik yönetim problemi matematiksel modelleme ile kolayca üstesinden gelebilecek bir hale dönüştürülebilmektedir. Şekil 1'de çalışmada modellenen 12 akışlı (akış bileşenli) trafik kavşağı görülmektedir.



Şekil 1. 12 akışlı trafik kavşağı

Şekil 1'deki 12 akışlı trafik kavşağında, araçlar sola dönme ve sağa dönme gibi belirli hareketler yapılmaktadır. Her bir araç bir akış bileşenini temsil etmektedir. Oklar trafik akışlarını temsil etmekte ve akışların yönlerini göstermektedir. Çakışma olmadan bir kavşakta aynı anda hareket eden trafik akışları uyumlu olarak değerlendirilmektedir. Örneğin Şekil 1'de (a) akış bileşeni ile (b) akış bileşeni uyumlu akışlardır. Fakat (e) akış bileşeni ile (h) akış bileşeni arasında bir uyum söz konusu değildir.

Şekil 1'deki modelde hangi akış bileşen(ler)inin hangi akış bileşen(ler)i birlikte hareket edebileceğine karar vermek zor bir seçim sürecidir. Çünkü verilecek bu karar önemli sorunlara yol açabilmektedir. Örneğin, trafikte bekleme sürelerinin artması, trafik sıkışıklığının ve olası trafik kazalarının artmasına neden olabilmektedir.

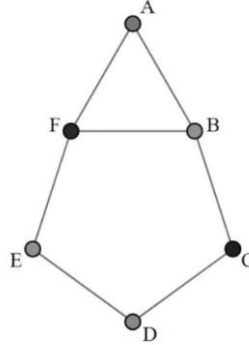
Bahsedilen bu nedenlerden dolayı trafik ışığı düzenlemesi önemli ve çözülmesi gereken problemlerden biridir. Bu çalışmada da şehir içi ulaşımın daha seri olmasını, emniyetli hale gelmesini ve mevcut yol ağının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak ve trafikte kalma süresinin en az seviyeye indirgenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla dairesel yay çizge teorisi kullanılarak problem modellenmiş ve optimum sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle mevcut probleme özgü bir örnek kavşak modeli ele alınmış ve problemin nasıl modellenebileceği ve çözülebileceği açıklanmıştır.

3. Yöntem

Bu çalışmada, kavşak noktalarında bulunan trafik ışıklarının çizge teorisi ile optimize edilmesi sağlanmaktadır. Çizgeler, bilgisayar dünyasında bulunan ve gerçek hayatta çeşitli sebeplerle karşılaşılan yapıları temsil etmek amacıyla kullanılan şekillerdir [9]. Bu probleme yönelik en sık kullanılan çizge çeşitleri aralık çizgeleri ve dairesel yay çizgeleridir. Bu çizge çeşitleri gerçek dünya problemlerinde bir takım görevlerin hiçbir zaman aynı anda yapılamayacağı zamanlarda kullanılmaktadırlar. Trafik kavşaklarında bulunan trafik ışıklarının da çalışma prensibinde çakışmaların önlenmesi ve her bir akışın sağlanması dairesel yay çizgelerine örnektir. Yapılan çalışmada da kavşak noktalarındaki trafik ışık sistemlerinin çözümünde kullanılan dairesel yay çizgesi kullanılmıştır.

3.1 Çizgeler

Bir çizgenin genel gösterimi $G = (V, E)$ şeklindedir. Bu ifadede V düğümler kümesi E ise kenarlar kümesini yani düğümlerin birbirleri ile ilişkisini ifade etmektedir. Şekil 2'de bir çizge modeli görülmektedir.



Şekil 2. Çizge örneği

Şekil 2'deki çizgede V sayısı 6, E sayısı da 7 olduğundan çizge $G=(6,7)$ şeklinde formüle edilmektedir.

3.1.1 Aralık çizgesi

Bir çizgi üzerinde kesişen aralıkları gösteren çizgeye aralık çizgesi denir. Aralık çizgeleri, gerçek dünya problemlerini modellemek için kullanılan en kullanışlı matematiksel yapılardan biridir. Öncelikle her biri kesin başlangıç ve bitiş zamanı olan bir dizi görevi ele almaktadır. Art arda çalışan işlemlerin, bu görevleri yerine getirmeleri aralık çizgesi ile ifade edilebilmektedir. Ancak, art arda çalışan bu işlemler, hiçbir zaman aynı anda görev yapmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu durumu modellemek için her bir görevin tepe noktası ile temsil edilmesi gerekmektedir. Bir kenara karşılık gelen görevlerin zamanla çakıştığı durumlarda iki köşenin bağlandığı bir çizge oluşturulmalıdır.

Trafik kavşaklarında bulunan trafik ışıklarının çalışma prensibi aralık çizgelerine benzemektedir. Bir çizgenin aralık çizgesi olup olmadığına karar vermek için aşağıdaki yöntem kullanılmalıdır.

Örneğin $G = (V, E)$ çizgesi ele alındığında,

$$V = \{1,2,3,4,5,6,7\} \quad (1)$$

$$E = \{\{1,2,3\}, \{2,3,4\}, \{4,5\}, \{5,6,7\}\} \quad (2)$$

G çizgesinin maksimum hizipleri $K_1=\{1,2,3\}$, $K_2=\{2,3,4\}$, $K_3=\{4,5\}$, $K_4=\{5,6,7\}$ ve maksimal-uç nokta tepe insidans matrisi Şekil 3'te gösterilmektedir.

$$\begin{array}{l} \mathbf{K} = 123 \\ \mathbf{K} = 234 \\ \mathbf{K} = 45 \\ \mathbf{K} = 567 \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Şekil 3. G çizgesinin maksimal-uç nokta tepe insidans matrisi

Örneğin $H = (V, E)$ çizgesi ele alındığında,

$$V = \{1,2,3,4\} \quad (1)$$

$$E = \{\{1,2\}, \{2,3\}, \{3,4\}, \{1,4\}\} \quad (2)$$

H çizgesinin maksimum hizipleri $K_1=\{1,2\}$, $K_2=\{2,3\}$, $K_3=\{3,4\}$, $K_4=\{1,4\}$ ve maksimal-uç nokta tepe insidans matrisi Şekil 4'te gösterilmektedir.

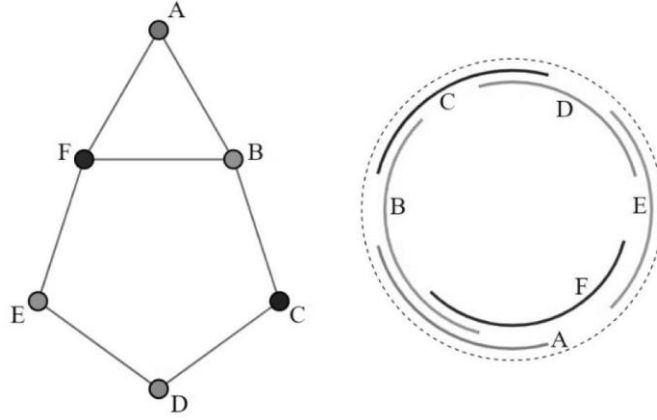
$$\begin{array}{l} \mathbf{K} = 12 \\ \mathbf{K} = 23 \\ \mathbf{K} = 34 \\ \mathbf{K} = 14 \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Şekil 4. H çizgesinin maksimal-uç nokta tepe insidans matrisi

Bir çizgenin aralık çizgesi olması için maksimal uç nokta tepe insidans matrisinin, hem satırlar hem sütunlar için ardışık 1'lerin olması gerekir [10]. Şekil 3'te gösterilen G çizgesinin maksimal-uç tepe insidans matrisinde 1'lerin sıralı bir düzende geldiği için G çizgesi aralık çizgesidir. Fakat Şekil 4'te gösterilen H çizgesinin maksimal-uç tepe insidans matrisinde 1'ler sıralı bir düzende gelmediği için H çizgesi aralık çizgesi olarak ifade edilmemektedir.

3.1.2 Dairesel yay çizgesi

G çizgesi, bir daire üzerindeki bir dizi yay şeklinde kesişim çizgesi ise bu çizge dairesele yay çizgesi olarak ifade edilmektedir. Bu durumda, her G tepe noktası için bir yay bulunmakta ve buna karşılık gelen yayların kesişimi ile G 'de iki köşe bitişiktir [11]. Bu çizge sınıfını tanımak için doğrusal bir zaman sınırı verilmektedir. G sınıfın bir üyesi olduğunda, algoritma bunu gerçekleştiren bir dizi yay şeklinde bir sertifika vermektedir. Şekil 5'te bir çizgenin dairesele yay çizgesi olarak gösterimi verilmektedir. Burada her düğüm (A, B, C, D, E, F) bir dizi dairesele yay çizgesinde bir yaya karşılık gelmektedir. Ayrıca her yayın kesişmesi için birbirleri ile ilişkisi olması gerekmektedir.

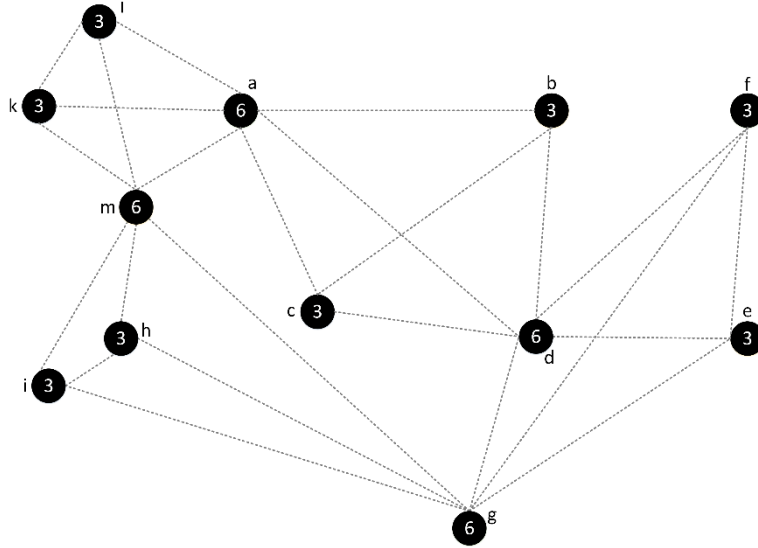


Şekil 5. Dairesel yay çizgesi örneği

4. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, trafik ışığı senkronizasyonunu optimum seviyeye ulaştırmak amacıyla 12 akışlı bir kavşak üzerinde çizge teorisi kullanılmıştır. Öncelikle Şekil 1’de verilen kavşak, bir çizgeye olarak modellenmiştir. Daha sonra oluşturulan çizge üzerinden maksimum hizip sayıları bulunmuş ve dairesel yay çizgesi oluşturulmuştur. Son olarak ise aralık çizgesi oluşturulmuş ve 4 adet yeşil ışık çalışma durumu elde edilmiştir. Elde edilen sonucun aralık çizgesi Şekil 8’de yer verilmiştir.

Şekil 1’de gösterilen 12 akış bileşeninden oluşan kavşak öncelikle çizge olarak modellenmiştir. Bu modele ilişkin çizge Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 6. Şekil 1’den elde edilmiş çizge

Şekil 6’daki çizgede her bir akış bir düğüm ile gösterilmiştir ve 12 akış bileşenini temsil eden 12 adet düğüm bulunmaktadır. Düğümlerin üzerindeki sayılar, düğümlerin derecelerini göstermektedir. Örneğin (a) düğümünün üzerinde 6 sayısı yer almaktadır. Yani (a) düğümü, kendisi hariç diğer düğümlerle 6 adet komşuluğu bulunmaktadır. Uyumlu olan akışlar ise hatlar ile birleştirilmiştir. Örneğin (a), (k), (l), (m) akışları birbirleri ile uyumludur ve bu düğümler, kenarlar ile birleştirilmiştir. Böylece kavşağı temsil eden çizge oluşturulmuştur.

Şekil 6’da verilen çizgeden yararlanılarak maksimum hizip sayılarının öncelikle elde edilmesi gerekmektedir. Maksimum hizip sayıları hesaplanırken Algoritma 1’deki sözde koddan faydalanılmıştır.

Algoritma 1: Maksimum hizipleri bul

```

FUNCTION Hizipleribul(i,l,s)
  FOR each j:range(i + 1, n - (s - 1) + 1)
    IF çizgenin derecesi yeterli ise
      THEN tepe noktası ekle
      IF Call Hizipkontrolü(l + 1) #Alt kümenin bir hizip oluşturduğunu kontrol et
        THEN
          IF (l < s)
            THEN Call Hizipleribul(j,l + 1,s)
          ELSE
            Yaz(l+1)
          End IF
        End IF
      End IF
    End IF
  End FOR
End FUNCTION

```

Algoritma 1’deki sözde koddan faydalanılarak bulunan hizip sayılarına Tablo 1’de yer verilmiştir.

Tablo 1. Şekil 6’daki çizgede yararlanılarak bulunan maksimum hizip sayıları

Dörtlü Maksimum Hizipler	Üçlü Maksimum Hizipler	İkili Maksimum Hizipler
a, b, c, d	a, b, c	d, e, g
d, e, f, g	a, b, d	d, f, g
i, h, g, m	a, c, d	e, f, g
a, k, l, m	a, k, l	g, h, i
	a, k, m	g, h, m
	a, l, m	g, i, m
	b, c, d	h, i, m
	d, e, f	k, l, m
		a, b
		c, d
		g, i
		a, c
		d, e
		g, m
		a, d
		d, f
		h, i
		a, k
		d, g
		h, m
		a, l
		e, f
		i, m
		a, m
		e, g
		k, l
		b, c
		f, g
		k, m
		b, d
		g, h
		l, m

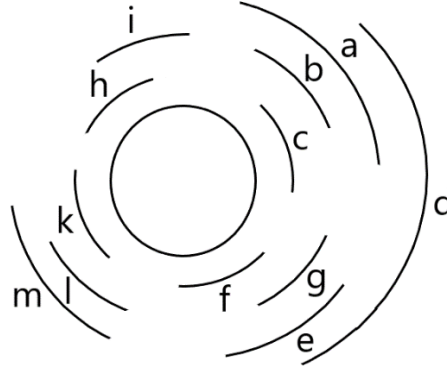
Tablo 1’de görüldüğü üzere maksimum hizipler en çok dörtlü en az ise ikili olarak tespit edilmiştir. Daha sonra hizipler, sayıları dörtlü, üçlü ve ikili olarak kategorize edilmiştir. Böylece 4 adet dörtlü maksimum hizip, 16 adet üçlü maksimum hizip ve 24 adet ikili maksimum hizip elde edilmiştir.

Bir sonraki aşamada, Tablo 1’de verilen hizipler kullanılarak, maksimal-uç nokta tepe insidans matrisi oluşturulmuş ve maksimum hizipler elde edilmiştir. Maksimal-uç nokta tepe insidans matrisi oluşturulurken (a), (b), (c), (d) ve (d), (e), (f), (g) dörtlü maksimum hizipleri, (k), (l), (m) üçlü maksimum hizipleri ve (h), (e) ikili maksimum hizipleri kullanılmıştır. Oluşturulan matrise Tablo 2’de yer verilmiştir.

Tablo 2. Maksimal-uç nokta tepe insidans matrisi

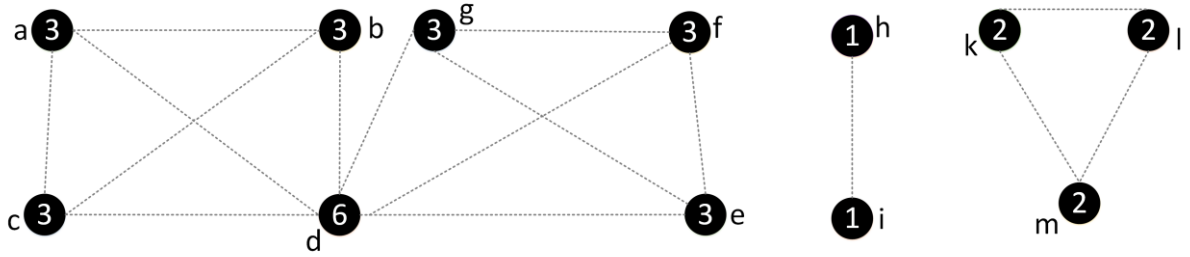
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m
a	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
d	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
k	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Tablo 2’den görüldüğü üzere, tüm satırlarda elde edilen 1’lerin sıralı olması sağlanacak şekilde hizipler yerleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra dairesel yay çizgesi oluşturulmuştur. Dairesel yay çizgesi, satırlarda bulunan maksimum hizipler göre oluşturulabilmektedir. Oluşturulan dairesel yay çizgesine Şekil 7’de yer verilmiştir.



Şekil 7. Dairesel yay çizgesi

Dairesel yay çizgesinde birbirleri ile aynı anda hareket edecek akışlar, birbirlerini kesecek şekilde daire üstüne yerleştirilmektedir. Şekil 7’de bulunan örnekte (k) ve (l) akışları aynı anda hareket edeceklerinden dolayı kesiştirilmiştir. Şekil 7’de verilen dairessel yay çizgesi kullanılarak bir sonraki aşamada aralık çizgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan aralık çizgesi Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Aralık çizgesi

Şekil 8’de oluşturulan aralık çizgesine göre toplamda 4 adet yeşil ışık ataması yapılmıştır. Birinci yeşil ışık ataması (a), (b), (c), (d) akışlarını içermektedir. İkinci yeşil ışık ataması (d), (g), (f), (e) akışlarını içermektedir. Burada dikkat edilirse birinci ve ikinci yeşil ışık atamalarının kesişimin de (d) akışı bulunmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere birinci yeşil ışık ataması tamamlandıktan sonra (d) akışının yeşil ışık olarak yanması devam etmekte ve kırmızıya dönmeye gerek kalmamaktadır. Böylece, ikinci yeşil ışık ataması ile (d) akışı hareketine devam edebilmektedir. Üçüncü yeşil ışık ataması ise (h) ve (i) akışlarını içermektedir. Son olarak dördüncü yeşil ışık ataması ise (k), (l) ve (m) akışlarını içermektedir. Bu durumda trafik ışıklarının optimum olarak çalışma prensibi elde edilmiş olacaktır.

5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada trafik akışının daha seri olmasını, emniyetli hale gelmesini ve mevcut yol ağının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak ve trafikte kalma süresinin en aza indirgenmesi sağlamak amacı ile bir trafik kavşağı modellemesi yapılmıştır. Yapılan modellemede yeni yollar eklemeyen, var olan veriler kullanılarak trafik akışlarının dört yönlü yol kavşağında sorunsuz ve verimli bir şekilde düzenlenmesi sağlanmıştır. Modellemenin dairessel yay çizge teorisi kullanılarak optimum düzeyde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Tekniğin geçerliliğini ve çizgeler ile uygulanabilirliğini göstermek için dört yönlü ve 12 akışlı bir trafik kavşağı örneği üzerinde model geliştirilmiş çalışma yapılmıştır.

Örnekte belirli bir kavşak için çözüm ortaya çıkarılmasına rağmen bu fikir genişletilebilir niteliktedir. Yapılan çalışmaya alternatif olarak, yol düzenleri, trafik hacimleri ve benzer parametreleri farklılık gösteren kavşaklar için

de dairesel yay çizgesi kullanılarak optimum çözüm elde edilebilmektedir. Ayrıca bir kavşakta oluşan yoğunluğun bağlantılı diğer kavşakları da etkilemesi olası bir sorundur. Akış yoğunluğunun az olduğu bölgelerde trafik ışığı sürelerini de göz önüne alarak optimum model oluşturulabilir.

Matematiksel bir yöntem olan çizge teorisini bilgisayar bilimlerinde kullanarak bir bölgenin trafik akışlarını optimum düzeyde modelleyebilen algoritmalar tasarlanabilir. Oluşturulan algoritmalar ile bir yazılım ürünü geliştirilerek farklı parametreler de trafik akışları ve kavşak modelleri belirlenerek optimum bir çözüme ulaşılabılır. Böylece problemin çözümü evrensel bir çözüme ulaştırılabilir. Bir şehirdeki tüm kavşakların bir araya getirilerek büyük ölçekli bir şehir içi ulaşım sorununun çizge modellemesi ile kolayca çözülmesi mümkün olabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Robert C. Alex W. Swarm optimization methods for traffic light cycle control. Applied Mathematics 221 Final Project. August 31, 2017.
- [2] Little, J. D., Murty, K. G., Sweeney, D. W., & Karel, C. (1963). An algorithm for the traveling salesman problem. Oper. Res., 11(6), 972-989.
- [3] Ramesh, T. (1981). Traveling purchaser problem. Opsearch, 18(1-3), 78-91.
- [4] Assadian, M., Farsangi, M. M., & Nezamabadi-pour, H. (2010). GCPSO in cooperation with graph theory to distribution network reconfiguration for energy saving. Energy Convers. Manage., 51(3), 418-427.
- [5] Tzatchkov, V. G., Alcocer-Yamanaka, V. H., & Bourguett Ortíz, V. (2008). Graph theory based algorithms for water distribution network sectorization projects. In Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006 (pp. 1-15).
- [6] Ding, L., & Guan, Z. H. (2008). Modeling wireless sensor networks using random graph theory. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 387(12), 3008-3016.
- [7] Lewchalermvongs, C., (2018). Origami and Graph Theory.
- [8] Marpaung F., Ritonga A., Application Of Graph Coloring For Optimization Of Traffic Light Setting in Medan. Journal Of Physics. Conference Series (Vol. 1188, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- [9] Chanun L., Applying Graph Theory to Problems in Traffic Control. Mahidol University International College March 21.
- [10] Hong S., Combinatorial And Computation. Kore Cumhuriyeti: World Scientific, 2000.
- [11] Lin M. C., Szwarcfiter J. L., Characterizations and Recognition of Circular-Arc Graphs and Subclasses: A Survey. Discrete Math. 2009;309(18): 5618-5635
- [12] Gardi, F. (2007). The Roberts Characterization of Proper and Unit Interval Graphs. Discrete Math., 307(22), 2906-2908.
- [13] Tanveer S., Application of Graph Theory for Scheduling Of Traffic Lights. International Journal of Mathematics **and Computer Applications Research** 2017; 7(5): 21-24.
- [14] Roberts F. S., Some applications of graph theory. Combinatorial & Computational Mathematics: Present and Future: Pohang, the Republic of Korea, 15-17 February 2000, 210.
- [15] Setiawan, E. K., Budayasa, I. K. (2017). Application of Graph Theory Concept for Traffic Light Control at Crossroad. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1867, No. 1, p. 020054). AIP Publishing LLC.
- [16] Baruah A. K., Baruah N., Signal Groups of Compatible Graph in Traffic Control Problems. International Journal of Advanced Networking and Applications; 2012;04(01):1473-1480.
- [17] Baruah A. K., Traffic Control Problems Using Graph Connectivity. Int. J. Comput. Appl. 2014;86(11).
- [18] Sharma A. Pandey R., Optimization of Traffic Signal System. Journal of International Academy of Physical Sciences 2011;15(04): 479-486.
- [19] Kuplinsky S. Kuplinsky J., The Scheduling Of Traffic Lights. UMAP/ILAP Modules 2006.
- [20] Firouzian S. Jouybar M.N., Coloring Fuzzy Graphs And Traffic Light Problem. The Journal of Mathematics and Computer Science (TJMCS) 2011;02(03):431-435