



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



**Topluluk tespiti yöntemi ile ulaşım ağında verimli yeşil dalga koridorlarının belirlenmesi**

*Determination of efficient green wave corridors in the transportation network with the community detection method*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Furkan ÖZTEMİZ<sup>1</sup>, Ali KARCI<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0001-5425-3474

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0002-8489-8617

**To cite to this article:** Öztemiz F., Karcı A., “Topluluk tespiti yöntemi ile ulaşım ağında verimli yeşil dalga koridorlarının belirlenmesi”, *Journal of Polytechnic*, 27(1): 35-45, (2024).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Öztemiz F., Karcı A., “Topluluk tespiti yöntemi ile ulaşım ağında verimli yeşil dalga koridorlarının belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 27(1): 35-45, (2024).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1074962

# Topluluk Tespiti Yöntemi ile Ulaşım Ağında Verimli Yeşil Dalga Koridorlarının Belirlenmesi

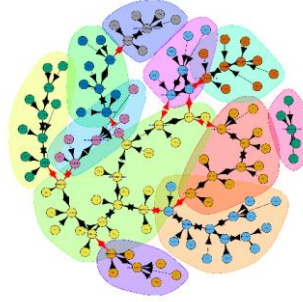
## Determination of Efficient Green Wave Corridors in The Transportation Network with The Community Detection Method

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Ulaşım Ağında topluluk tespiti yöntemi ile yeşil dalga uygulaması gerçekleştirilmiştir. / Green wave application was carried out with community detection method in the transportation network.
- ❖ Gerçek veriler kullanılarak sinyalizasyon sistemi çizge üzerinde modellenmiştir. / The signaling system is modeled on the graph using real data.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Ulaşım ağı çizgesi üzerinde walktrap topluluk tespiti algoritması uygulanarak benzer durum sergileyen kavşak noktaları için yeşil dalga koridorları oluşturulmuştur. 2 yeşil dalga koridoru sahada uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. / By applying the walktrap community detection algorithm on the transportation network graph, green wave corridors were created for the intersection points with similar situations. 2 green wave corridors were implemented in the field and successful results were obtained.



Şekil. Yeşil dalga koridorları /Figure. Green wave corridors

### Amaç (Aim)

Ulaşım ağında yeşil dalga sistemi kurulumu için verimli koridorların belirlenmesi. / Identification of efficient corridors for green wave system installation in the transportation network.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Ağırlıklı ulaşım ağı çizgesi oluşturulmuş ve kavşak noktalarının gruplandırılması için Walktrap topluluk tespiti algoritması kullanılmıştır. / A weighted transportation network graph was created and the Walktrap community detection algorithm was used to group the intersection points.

### Özgünlük (Originality)

Çalışma Malatya kentine özgü yapılmıştır. Kent içi gerçek sinyalizasyon ve araç sayım verileri kullanılmıştır. Yeşil dalga koridorlarının topluluk tespiti yöntemleri ile belirlenmesi çalışmayı özgün yapan bir diğer etmelidir. / The study was made specific to the city of Malatya. Real urban signaling and vehicle count data were used. Identifying green wave corridors with community detection methods make the study unique.

### Bulgular (Findings)

Ulaşım ağındaki kavşak noktaları başarılı şekilde yeşil dalga koridorlarına ayrılmıştır. / Intersection points in the transport network have been successfully separated into green wave corridors.

### Sonuç (Conclusion)

Belirlenen 2 yeşil dalga koridoru sahada uygulanmıştır. Bu iki yeşil dalga koridorlarından %38.11 ve %7.17 oranlarında birim zamanda araç geçişi artışı sağlanmıştır. / The 2 determined green wave corridors were applied in the field. In these two green wave corridors, 38.11% and 7.17% increase in vehicle passage per unit time has been achieved.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Topluluk Tespiti Yöntemi ile Ulaşım Ağında Verimli Yeşil Dalga Koridorlarının Belirlenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Furkan ÖZTEMİZ\*, Ali KARCI**

Mühendislik Fakültesi, Yazılım Müh. Bölümü, İnönü Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 17.02.2022 ; Kabul/Accepted : 05.05.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 03.06.2022)

## ÖZ

Sinyalizasyon sistemleri kent içi ulaşım ağlarının yönetilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin optimize edilmesi ulaşım ağlarındaki trafik yoğunluklarını önemli derece azaltmaktadır. Sinyalizasyon sisteminin verimliliğini artırmak için uygulanan popüler yöntemlerden birisi sinyalizasyon sistemlerinin koordineli olarak çalışması anlamına gelen yeşil dalga uygulamasıdır. Yeşil dalga sistemi taşıtların ard arda kırmızı ışığa yakalanmalarını engelleyerek ulaşım süresini, yollardaki bekleme süresini ve araçların karbon salınımını azaltmaktadır. Bu noktada ortaya çıkacak olan problem ise yeşil dalga sisteminin hangi kavşak noktaları üzerinde uygulanacağıdır. Bu çalışmada Malatya kentine ait araç sayım ve sinyalizasyon verileri kullanılmış ve ulaşım ağı verileri ağırlıklı çizgeye dönüştürülmüştür. Ulaşım ağına walktrap topluluk tespiti algoritması uygulanarak kavşak noktaları, üzerindeki araç geçiş benzerliklerine göre gruplandırılmıştır. Belirlenen 2 farklı grup içerisindeki kavşak noktaları için yeşil dalga sistemine geçirilerek fiziki olarak sahada uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar yeşil dalga uygulanan bölgelerde birim zamanda geçen araç sayısında önemli artışlar olduğu göstermektedir. Bu durum kırmızı ışıkta bekleyen taşıt sayısındaki azalma ve duran araçların atmosfere yaydıkları karbon salınımında önemli azalmalar meydana getirmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil dalga, topluluk tespiti algoritmaları, walktrap algoritması, sinyalizasyon sistemleri, ulaşım ağı.

## Determination of Efficient Green Wave Corridors in The Transportation Network with The Community Detection Method

### ABSTRACT

Signaling systems play an important role in managing urban transport networks. Optimizing signaling systems significantly reduces traffic density in transport networks. One of the popular methods applied to increase the efficiency of the signaling system is the green wave application, which means the coordinated operation of the signaling systems. The green wave system prevents vehicles from being repeatedly caught in red light, reducing travel time, waiting time on the roads and carbon emissions of vehicles. The problem that will arise at this point is on which intersection points the green wave system will be applied. In this study, vehicle counting and signaling data of the city of Malatya were used and the transportation network data was converted into a weighted graph. By applying the walktrap community detection algorithm to the transportation network, the intersection points are grouped according to the vehicle transition similarities on them. It was applied to the green wave system physically for the intersection points in 2 different groups determined. The results show that there are significant increases in the number of vehicles passing per unit time in the regions where green waves are applied. This situation has resulted in a decrease in the number of vehicles waiting at red lights and significant reductions in carbon emissions from stationary vehicles into the atmosphere.

**Keywords:** Green wave, community detection algorithms, walktrap algorithms, signaling systems, transportation network.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kent içi ulaşım ağlarındaki sinyalizasyon sisteminin maksimum verimlilikte çalışması oldukça önemli bir durumdur. Kavşak noktalarında oluşan araç yoğunlukları ulaşım ağlarında meydana gelen ciddi bir trafik problemidir. Bu problemin en aza indirilmesi için yapılabilecek düzenlemelerden birisi sinyalizasyon sisteminin optimize edilmesidir [1]. Minimum sürede maksimum araç geçişine imkân sağlayan yeşil dalga sistemi bu önemli yöntemlerden birisidir. Yeşil dalga sistemi belirlenen güzergâhlarda belirli bir hızla seyahat

eden araçların tüm ışıklardan yeşil ile geçiş yapmasını sağlayan sistem bu sayede zaman ve yakıt tasarrufuna imkân vermektedir [2]. Yakıt tasarrufu aynı zamanda araçların atmosfere saldıkları karbon miktarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır [3].

Bu çalışmada ise yeşil dalga sisteminin oluşturulacağı güzergâhların belirlenmesi için çizge teorisi temelli topluluk tespiti algoritması kullanılmıştır. Uygulamada Malatya kenti ulaşım ağındaki akıllı kavşak noktalarının sinyalizasyon verileri kullanılmıştır. Sinyalizasyon verileri ile bu kavşak noktalarına ait ulaşım ağı çizgesi oluşturulmuş ve yeşil dalga sisteminde uygun kavşakların seçilimi için walktrap topluluk tespiti algoritması uygulanmıştır. Bu çalışmada hedeflenen

\*Sorumlu Yazar (Corresponding author)  
e-posta : furkan.oztemiz@inonu.edu.tr

başarı walktrap topluluk tespiti algoritmasınca önerilen gruplardaki yeşil dalga uygulaması sonrası birim zamandaki araç geçiş sayılarının, mevcut akıllı kavşakların sağladıkları geçiş sayılarından daha fazla olmasını sağlamaktır. Akıllı kavşaklar kendisine bağlı yollarda biriken araç sayısını analiz ederek sinyalizasyon sisteminde ışıkların maksimum araç geçişine imkân sağlayacak şekilde bireysel olarak optimize etmektedir [4].

Çalışmada Kent'e ait 40 akıllı kavşak noktasına bağlı 158 yolun sinyalizasyon ve bu yollardan geçen yaklaşık 350 milyon aracın sayım verileri kullanılmıştır. Elde edilen kavşak sınıflandırılması neticesinde belirlenen 2 güzergâh üzerinde yeşil dalga uygulaması yapılmıştır. Tasarlanan ağırlıklandırılmış ulaşım çizgesi üzerindeki düğümler kavşak noktalarını ifade ederken kenarlar ise kavşak noktalarına bağlı yolları ifade etmektedir. Ulaşım çizgesi 2019 yılı boyunca zaman, yeşil ışık süresi ve araç geçiş sayıları verileri kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Ulaşım ağı çizgesinde benzer zaman ve araç geçiş sayılarına sahip kavşak noktalarının benzerlik profillerine göre yeşil dalga sistemi için uygun olup olmayacağı analiz edilmiştir. Bu sayede yeşil dalga sisteminin sahada uygulanmadan önce uygun konumların belirlenmesi ve maksimum faydanın hangi kavşak noktalarına uygulanarak sağlanacağı hakkında önemli bilgiler sağlayacaktır. Çalışmada kullanılan verilerin ön işleme süreci sqlserver ortamında gerçekleştirilmiştir. Ulaşım ağının modellenmesi ve analiz işlemleri için R programlama dili ve igraph kütüphanesi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak bu çalışmada verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ (LITERATURE REVIEW)

Literatürde herhangi bir topluluk tespiti algoritması kullanılarak yeşil dalga sisteminin uygulamasına yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışma bu haliyle özgün bir yapıya sahiptir. Literatürde ulaşım ağları üzerinde topluluk tespiti algoritmalarının kullanıldığı veya yeşil dalga uygulamalarının topluluk tespiti algoritmalarından bağımsız olarak gerçekleştirildiği çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ulaşım sistemlerinde yeşil dalga uygulaması veya topluluk tespiti algoritmalarının kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmalardan bazıları; Yapılan bir çalışmada yeşil dalga sistemi akıllı ulaşım sistemlerine dönüştürülerek bir koridor üzerinde değişken faz süreli yeşil dalga sistemi uygulanmıştır. Yeşil dalga koridoru içerisindeki veri toplama ve hız tespit noktaları ile kavşaklardaki kontrol cihazlarının birbirleri ile bağlantıları sağlanarak faz sürelerini yoğunluk durumuna göre düzenleyip yaya ve araç trafiğini azaltmak amaçlanmıştır. Faz sürelerinde yapılan düzenleme neticesinde ortalama hızın arttığı, CO2 emisyonunun ve trafikteki bekleme sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir [5]. Topluluk tespiti algoritmalarının uygulandığı bir çalışmada ise kentsel yol ağının derinlemesine analizi yapılarak kentsel işlevsellik dağılımının anlaşılması amaçlanmıştır. OpenStreetMap

(OSM) ile yollar ve ilgi noktaları kullanılarak yapılan çalışmada, şehir içi yollardaki hiyerarşik topluluğu belirlemek ve yolların kentsel alanda oynadığı şekillendirici rolü ve aralarındaki ilişkiyi tespit etmek için Infomap topluluk algoritması kullanılmıştır. Kentsel fonksiyonel alanların dağılımı ile sonuçlar Çin'in Guangzhou kentindeki toplulukların farklı düzeylerde dağılımının, banliyöler ile kentsel merkezler arasındaki ve kentsel merkezler ile kentsel mekansal ilişkiyi yansıttığı tespit edilmiştir [6].

Yeşil dalganın karbon emisyonlarını azaltılmasını öneren bir başka çalışmada, belirli bir bölge üzerinde yapılan uygulama sonucuna göre %44.08 oranında kazanımlar elde edildiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada yeşil dalga uygulamasının emisyon hesaplamaları için VISSIM, HBEFA, CAR2 isimli 3 farklı model kullanılmıştır [7]. Topluluk tespiti algoritmaları kullanılarak ulaşım ağlarının yapısını geliştirmek ve tahmin işlemleri gerçekleştirmek için yapılan çalışmada farklı kentlere ait metro, demir yolu ve kara yolu ağı gibi 12 ulaşım ağı üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada ulaşım ağlarında hem düğüm kaldırma hem de kenar kaldırmayı göz önünde bulundurarak toplulukları ayıran iki etkili ve ölçeklenebilir ağ sökme algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmalarından COMDisE'nin diğer algoritmalarından daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Çalışma tek model ulaşım sistemleri ile sınırlandırılmıştır [8].

Trafik kontrol alanı belirlemek için gerçekleştirilen bir çalışmada, yol ağının yönlü ve mekansal mülkiyet gibi özelliklerini göz önünde bulundurarak, ağ bölgeleme için yer çekimi modeliyle topluluk tespitine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Birkaç topluluk tespiti yönteminin avantajlarını devralan bu yöntem, kavşaklar arasındaki mesafe ve kavşak ölçeğini aynı anda hesaba katmaktadır. İşlem kaynağı ve zaman tasarrufu elde ettiği iddia eden yöntem Guangzhou'nun Tianhe bölgesinde ağ bölgeleme için uygulanmıştır [9].

Başka bir çalışmada karayolu ağlarının küresel verimini artırmak ve araçların seyahat süresini en aza indirmek için çoklu kavşaklara yönelik ortak bir trafik kontrol çerçevesi önerilmiştir. Yol ağı üzerindeki kavşak noktalarından geçen araç sayısını artırmak için komşu kavşak noktalarının ortak geçiş oranı analiz edilmiştir. Yapılan simülasyon sonuçları neticesinde önerilen çerçeve diğer yöntemler ile karşılaştırılmış ve daha yüksek verim, daha düşük ortalama bekleme süresi, toplam seyahat süresi ve ortalama CO emisyonları elde edebileceğini göstermektedir. Ek olarak, çerçevenin fizibilitesini doğrulamak için LDTC için WAVE/DSRC tabanlı bir prototip tasarlanmış ve uygulanmıştır. Böylece, farklı yolların yeşil dalgaları, ana yollar için yeşil bir ağ oluşturmak üzere daha fazla koordine edinebileceği sonucu savunulmuştur [10].

Bir diğer çalışmada otoyol sistemi içerisinde yeşil dalga (GWSGS) ve eko-sürüş (EDSGS) hız yönlendirme stratejileri test edilmiştir. Bu iki strateji Virtools yazılımı ile kodlanmış ve stratejilerin etkinliklerini

değerlendirmek için 15 tipik sürücü test sürecine dâhil edilmiştir. Hem GWSGS hem de EDSGS'li araçlar için duraklama sayısının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Hız yönlendirmesi olmayan araçlar ile karşılaştırıldığında yakıt tüketimi ve CO2 emisyonları EDSGS ve GWSGS kapsamında sırasıyla %25 ve %13 oranında azaltılabildiği belirtilmiştir. Eco-s hız eğrisi, yeşil dalga aracınınkinden daha düzgün ve ortalama uyum oranı daha yüksek olarak tespit edilmiştir [11]. İki fazlı kullanılan yeşil dalga trafik teorisinin uygulanabilir koşullarının analiz edildiği bir çalışmada yeşil dalga trafik teorisini optimize etmek için sinyal kontrol konsepti, çapraz kavşaklar ve T-kavşaklar için özel bir program ortaya koyulmuştur. Analiz, optimize edilmiş Yeşil Dalga trafik teorisinin yol güvenliğini artırmak, araç yakıt tüketimini azaltmak ve araç emisyonlarını azaltmak için uygun olduğu sonucuna varmıştır [12].

Bir diğer çalışmada çeşitli topluluk tespiti yöntemleri üzerinden insan hareketliliğinin ilgi alanları ve ağ toplulukları arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Örnek inceleme için Şanghay ve Pekin'in taksi sistemi alınarak, kentsel bölgeler ve bu bölgeler arasındaki bağlantıları ağırlıklandırılarak oluşturulan ulaşım ağı kullanılmıştır. İlgi alanları ağdaki düğümler ile eşlenerek mekansal topluluk kategorilerini sınıflandırmak için bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir. Çalışmada iki spesifik topluluk tespiti algoritması (Combo ve Walktrap) ile tespit edilen toplulukların ilgi alanları ile ilişkili olduğu ve Combo korelasyonunun en iyi olduğu sonuca ulaşıldığı belirtilmiştir [13].

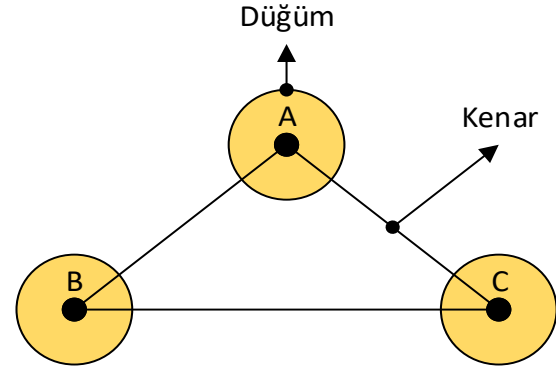
Bir sonraki çalışmada parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı sinyalizasyon sisteminin iki yönlü olarak yönlendirebilen yeşil dalga kontrol algoritması önerilmiştir. Çalışmada kuyruk uzunluğu trafik akış modeli ve iki yönlü yeşil dalga kontrol fonksiyonu oluşturulmuştur. Sinyal bölünme ve faz kayma işlemleri parçacık sürü optimizasyon algoritması ile optimize edilmiştir. Dongguan kentindeki Liansheng Yolu'ndan toplanan trafik verileriyle yapılan simülasyon sonucu, uygulanan yöntemin etkili ve pratik olduğunu kanıtlanmıştır. Grafiksel yöntem ve Sinyal kontrolü ile karşılaştırıldığında, önerilen algoritma gecikme süresini etkili bir şekilde azaltılabileceği ve araç kuyruk uzunluğunu kısaltabileceği ifade edilmiştir [14].

Literatürde bu çalışmalar dışında ulaşım ağlarının iyileştirilmesi için birçok çalışma olmak ile birlikte çizge teorisinin uygulanarak farklı problem türlerine yönelik başarılı sonuçların elde edildiği çalışmalar mevcuttur [15-17].

### 3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Çalışmanın modellenme ve uygulanma aşamaları Çizge teorisi temelli bir yaklaşım ile gerçekleştirilmiştir. Çizge teorisi herhangi bir alanda ağ yapıları gibi modellenebilen veri gruplarının analizinde önemli başarılar sağlamaktadır. Ağdaki en kısa yolun belirlenmesi, ağdaki gizli bir örüntünün keşfi gibi büyük

veri gruplarında ortaya çıkarılması zor olan problemlere çözüm sunan önemli bir veri yapı türüdür [18]. Çizgelerin düğüm ve kenar olmak üzere 2 temel bileşeni vardır. Çizgeler  $\mathcal{C}$  (Çizge) =  $D$  (Düğüm),  $K$  (Kenar) biçiminde tanımlanmaktadır [19]. Şekil 1'de örnek bir çizge yapısı verilmiştir.



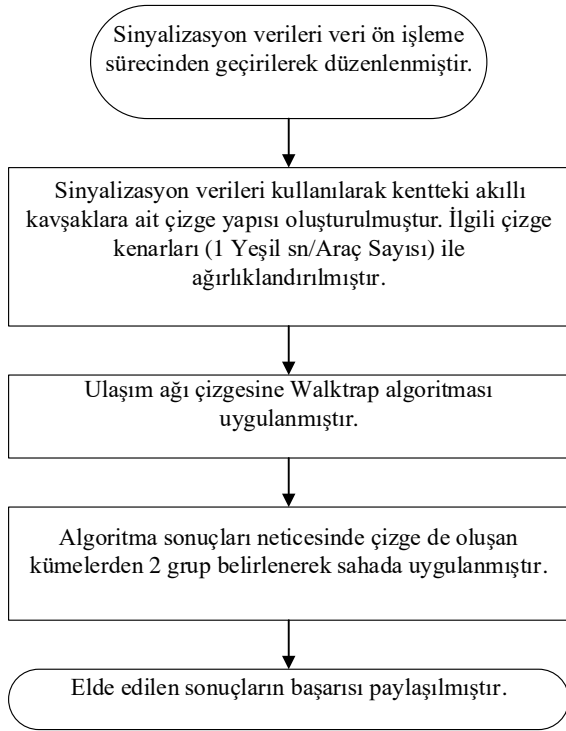
Şekil 1. Örnek Çizge yapısı (Example Graph structure)

Çalışmada Malatya kentinin birbirine komşu 40 kavşak noktasına ait araç sayım verileri kullanılmıştır. Bu veriler 158 yoldan kavşak noktalarına gelen araç sayılarını, zamanı ve yeşil sürelerini içermektedir. Veri tabanında 48.3 milyon satırdan oluşan veri seti, oluşturulan çizge ağının ağırlıklandırılmasında kullanılmıştır. Ulaşım ağı çizge teorisi ile modellenerek topluluk tespiti algoritmalarının uygulanabileceği forma dönüştürülmüştür. Çalışmada kullanılan veri formatı Şekil 2'de verildiği gibidir.

| Tarih                  | Faz   | Yeşil Süresi | Yön (Tıptı Sayısı)  | Toplam Tıptı Sayısı |
|------------------------|---|--------------|---|---------------------|
| 15/03/2022<br>14:35:13 | MAŞTI Geliş                                   | 38           | MAŞTI Geliş (441340 028)  | 28                  |
| 15/03/2022<br>14:35:43 | Fahri Kayahan Blv. ve Havva Loğmanlı Gelişler | 23           | Havva Loğmanlı Geliş (441330 02) Fahri Kayahan Blv. Geliş (441328 02) | 12                  |
| 15/03/2022<br>14:34:58 | Beydağ Geliş                                  | 38           | Beydağ Hastanesi Geliş (441331 040)                                   | 64                  |
| 15/03/2022<br>14:34:13 | MAŞTI Geliş                                   | 38           | MAŞTI Geliş (441340 034)  | 34                  |
| 15/03/2022<br>14:33:43 | Fahri Kayahan Blv. ve Havva Loğmanlı Gelişler | 23           | Havva Loğmanlı Geliş (441330 03) Fahri Kayahan Blv. Geliş (441328 03) | 23                  |
| 15/03/2022<br>14:32:58 | Beydağ Geliş                                  | 38           | Beydağ Hastanesi Geliş (441331 020)                                   | 62                  |
| 15/03/2022<br>14:32:13 | MAŞTI Geliş                                   | 38           | MAŞTI Geliş (441340 037)  | 37                  |
| 15/03/2022<br>14:31:43 | Fahri Kayahan Blv. ve Havva Loğmanlı Gelişler | 23           | Havva Loğmanlı Geliş (441330 03) Fahri Kayahan Blv. Geliş (441328 03) | 12                  |
| 15/03/2022<br>14:30:58 | Beydağ Geliş                                  | 38           | Beydağ Hastanesi Geliş (441331 040)                                   | 40                  |
| 15/03/2022<br>14:30:13 | MAŞTI Geliş                                   | 38           | MAŞTI Geliş (441340 030)  | 30                  |

Şekil 2. Sistemden çekilen örnek veri formatı (Sample data format received from the system)

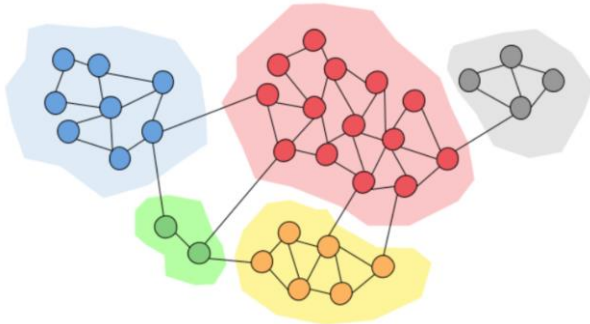
Çalışmanın süreç akış diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Süreç akış diyagramı (Process flow diagram)

### 3.1. Topluluk Tespiti Algoritmaları (Community Detection Algorithms)

Topluluk tespiti algoritmaları, düğüm gruplarının nasıl kümelendiğini veya bölündüğünü ve ayrıca güçlenme veya parçalanma eğilimlerini değerlendirmek için kullanılır [20]. Şekil 4' de çizge üzerinde bir topluluk keşfi örneği verilmiştir. Topluluk tespiti sosyal ağlarda ilgi alanları belirli olan bireylerin tespit edilmesi, Borsada manipülatif işlemler gerçekleştiren grupların keşfi vb.. birçok farklı alanda kümeleme için kullanılmaktadır [21]. Popüler topluluk tespiti algoritmalarından bazıları; InfoMAP, Label propagation, Fluid communities, Cluster Edge Betweenness, Walktrap algoritmalarıdır. Bu çalışmada literatür araştırmaları neticesinden ulaşım ağlarında başarılı sonuçlar veren Walktrap algoritması tercih edilmiştir [22].



Şekil 4. Çizge üzerinde topluluk tespiti (Community detection on graph) [23]

### 3.2. Walktrap Algoritması (Walktrap Algorithm)

Pons ve Lapaty tarafından 2006 yılında geliştirilmiştir. Walktrap her bir düğüm çifti için bir geçiş olasılıkları matrisi oluşturarak başlar. Bu matrisin her bir elemanı belirli bir süre boyunca rastgele bir yürüyüşte (random walk) bir düğümden verilen her bir düğüme geçiş olasılığını temsil etmektedir. Geçiş olasılıkları her bir düğüm çifti için düğüm derece veya kuvvetine dayanan bir mesafe ölçüsüne ulaşmak için kullanılır. Daha sonra bu mesafe matrisine geleneksel bir hiyerarşik kümeleme tekniği (Ward's metod) uygulanır ve her bir düğümün kendi topluluğu içindeki diğer düğümlere olan uzaklıklarının karelerinin toplamını en aza indiren topluluklar oluşturulur [24]. Bu yöntemin altında yatan fikir, iki düğüm aynı toplulukta bulunuyorsa, her ikisi de üçüncü başka bir düğüme rastgele yürüyüş yoluna göre aynı uzaklıkta olmalıdır fikridir [25]. Kavramsal olarak bu yaklaşım kümeler içinde dış düğümlerden daha fazla geçişe sahip topluluklara ulaşmayı amaçlar. Walktrap algoritmasının formülü aşağıda verilmiştir.

$$D(i, j) = \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{(P_{in}^m - P_{jn}^m)^2}{d_n}} \quad (1)$$

$$D(C_k, C_{k'}) = \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{(P_{C_k n}^m - P_{C_{k'} n}^m)^2}{d_n}} \quad (2)$$

$P_{C_k j}^m = \frac{1}{N_k} \sum_{i \in C_k} P_{ij}^m$  m adımda  $n_j \notin C_k$   $C_k$  dan  $n_j$ 'ye gitme olasılığıdır.

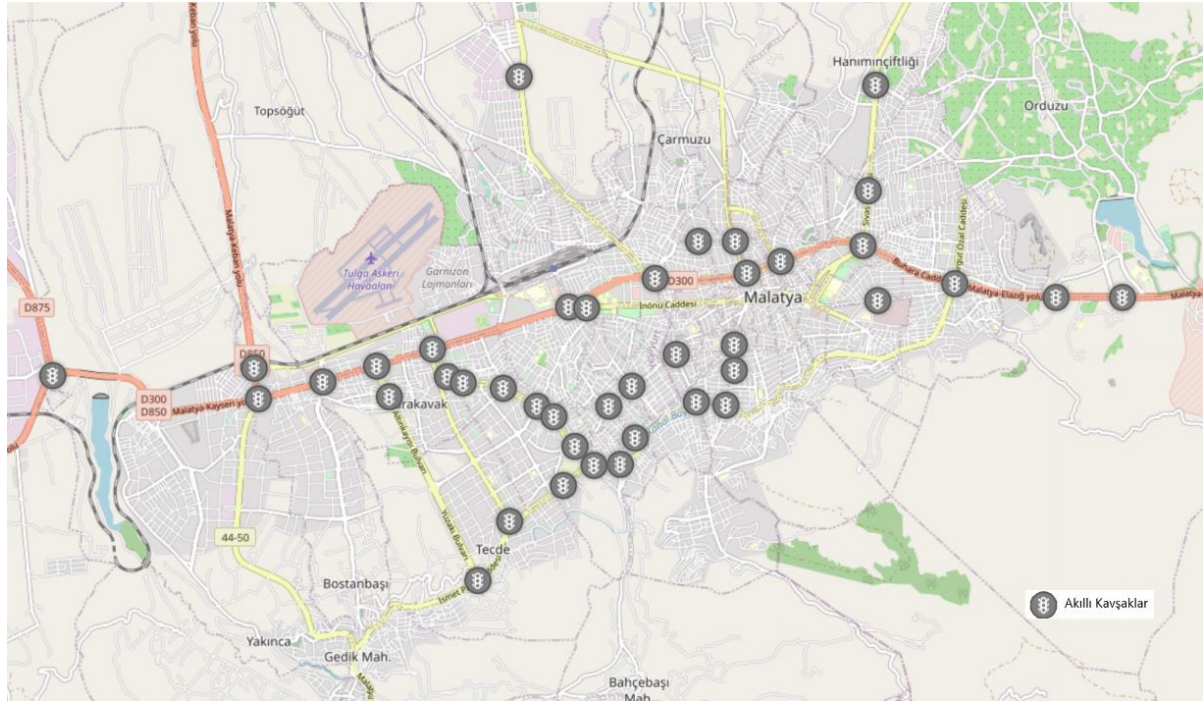
Walktrap algoritmasının çalışma adımları aşağıda kısaca belirtilmiştir.

- N toplulukla başlar ve her bir çift için  $D(i, j)$  mesafeleri hesaplanır.
- İki topluluğu birleştirmek için Ward kriteri kullanılır.
- Komşu topluluklar arasındaki mesafeler güncellenir.
- Tüm düğümler aynı toplulukta olana kadar 2. ve 3. adımlar tekrarlanır.

Son olarak maksimum modülerliğe dayalı olarak artan k ile topluluklar serisinden en iyi K seçilir [25].

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

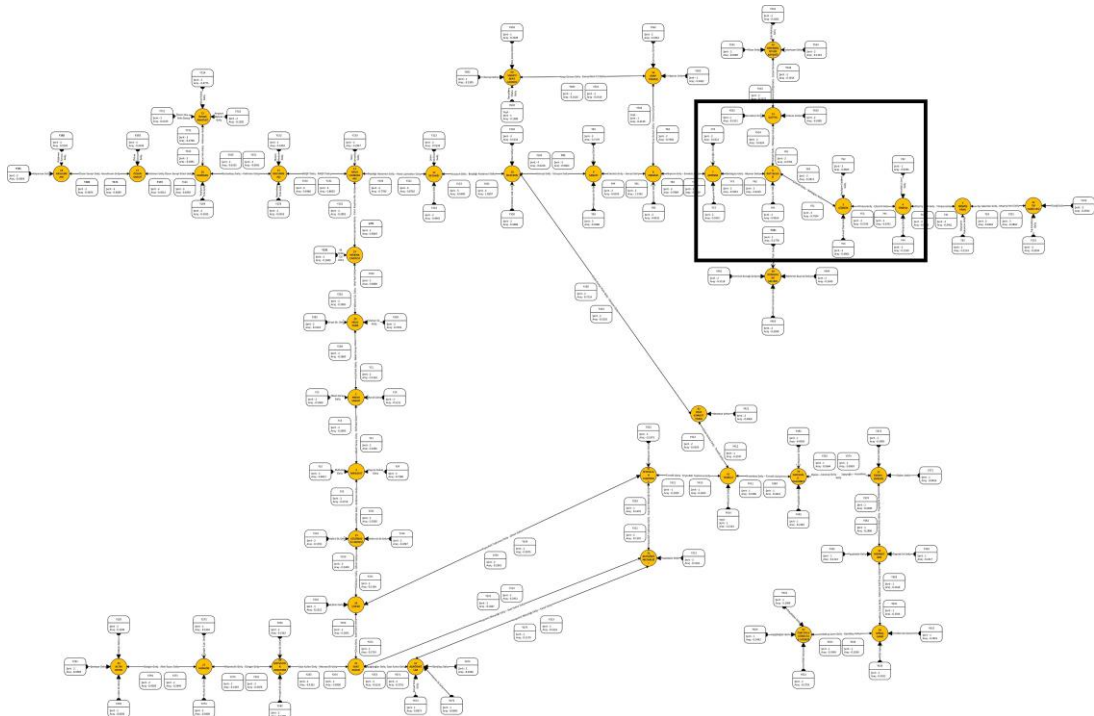
Malatya kentinde araç sayım verilerinin alınabildiği akıllı kavşak noktaları Şekil 5'de verilmiştir. Bu kavşak noktalarına ait bütün yollardan 1 yeşil sn süresince geçen araç sayısı hesaplanarak ağırlıklandırılmış ulaşım ağı çizgesi oluşturulmuştur.



Şekil 5. Malatya kenti akıllı kavşak noktaları (Malatya city smart intersection points)

Şekil 6'da akıllı kavşak ulaşım ağına ait çizge yapısı verilmiştir. Şekil 7'de, Şekil 6'da dikdörtgen ile belirtilen

Akpınar geliş istikametinden Y62, Çatyol geliş istikametinden Y61, Çöşnük geliş istikametinden Y64,



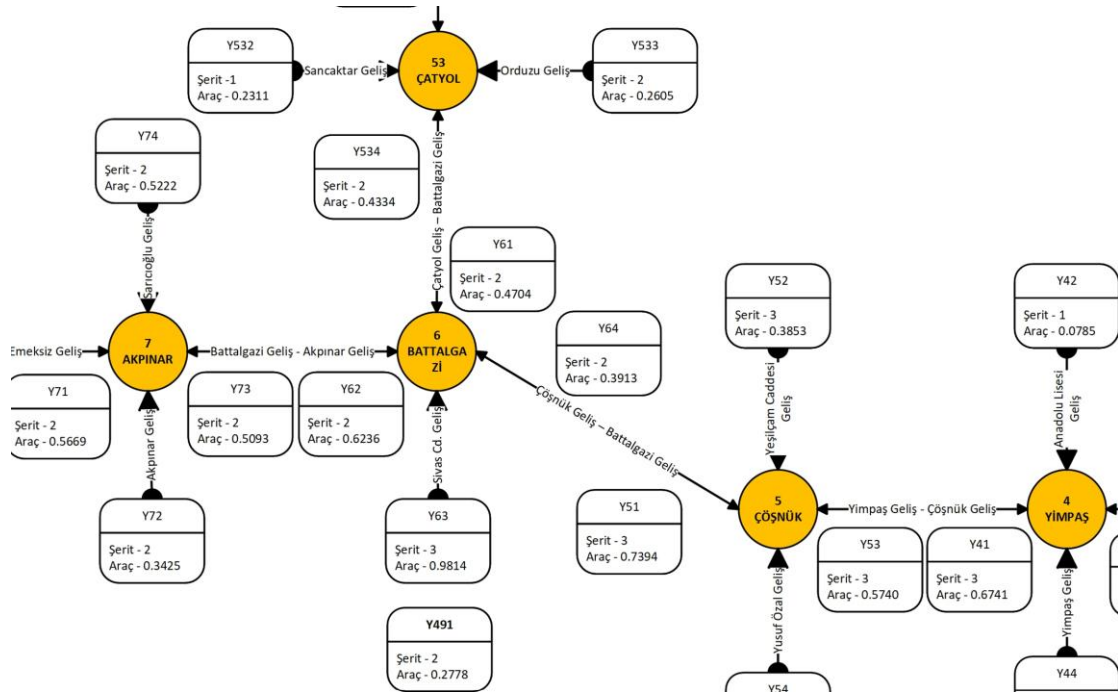
Şekil 6. Malatya kenti akıllı kavşak ulaşım çizge yapısı (Malatya city smart intersection transportation graph structure)

ulaşım ağı çizge yapısının yakınlştırılmış bir kesiti verilmiştir. Sarı renkte belirtilen daire kavşak noktalarını kare şeklinde belirtilen görsel ise kavşak noktalarına bağlı yollar ve yollara ait istatistik verilerini ifade etmektedir. Örneğin 6 numaralı Battalgazi kavşağına

Sivas cd. Geliş istikametinden Y63 kodlu yol bağlıdır. Y64 kodlu yolun verileri incelendiğinde yol 2 şerittir ve 1 Yeşil sn süresinde ortalama 0.3913 araç geçmiştir. Şekil 6'da verilen ulaşım çizgesine walktrap algoritması

uygulanmış ve kavşak noktalarının modularity sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

kalan kavşak noktaları birbirleri ile benzer araç geçiş profiline sahiptir. Her topluluk içerisindeki kavşak



Şekil 7. Sinyalizasyon çizge ağı (Signaling graph network)

Çizelge 1. Walktrap algoritması sonuçları (Walktrap algorithm results)

| Sıra | Kavşak Adı             | Walktrap Modularity | Sıra | Kavşak Adı            | Walktrap Modularity |
|------|------------------------|---------------------|------|-----------------------|---------------------|
| 1    | ÖZDEN_EMEKSİZ          | 0.6830919981        | 22   | BEYDAĞI               | 0.3544799984        |
| 2    | KUYUÖNÜMEZARLIĞI       | 0.6706051230        | 23   | ALTINKAYISI           | 0.3302564919        |
| 3    | ZAPÇIOĞLU_HASANBEY     | 0.6676746011        | 24   | GÜNGÖR                | 0.3133318722        |
| 4    | TEMELLİ                | 0.6593312621        | 25   | MEYVECİLİKARAŞTIRMA   | 0.2976426184        |
| 5    | FEYZULLAHTAŞKINSOY     | 0.6514489651        | 26   | AŞAĞIBAĞLAR           | 0.2791486979        |
| 6    | DEDEKORKUTPARKI        | 0.6408628225        | 27   | SAATKULESİ            | 0.2552154958        |
| 7    | KONFERANSSALONU        | 0.6222082376        | 28   | ÇİLESİZ               | 0.2392456383        |
| 8    | TIPFAKÜLTESİ           | 0.5679184198        | 29   | GÜLÜMSERCADDESİ       | 0.2277007997        |
| 9    | MİŞMİŞPARK             | 0.5317429900        | 30   | MIHLIDUT              | 0.2113352567        |
| 10   | YİMPAŞ                 | 0.5291031599        | 31   | MİRAÇCAMİİ            | 0.2048530430        |
| 11   | ÇÖŞNÜK                 | 0.5107244849        | 32   | NİKAHSARAYI           | 0.1920977831        |
| 12   | HANIMINÇİFTLİĞİKAVŞAĞI | 0.5039261580        | 33   | HİLALPARK             | 0.1716003865        |
| 13   | MEHMETAKİF             | 0.4753094912        | 34   | MİHENKCADDESİ         | 0.1502002478        |
| 14   | ÇATYOL                 | 0.4648491740        | 35   | HAVALOJMANLARI        | 0.1347125471        |
| 15   | BATTALGAZİ             | 0.4103838801        | 36   | BOSTANBAŞI            | 0.1176082864        |
| 16   | AKPINAR                | 0.4043017626        | 37   | ÖZSANANAYURT          | 0.0936480165        |
| 17   | SANAYİBENTCADDESİ      | 0.3972589672        | 38   | HEKİMAN               | 0.0458557308        |
| 18   | ARAPOSMAN              | 0.3878101707        | 39   | ÖZSANSANAYİ           | 0.0241799299        |
| 19   | EMEKSİZ                | 0.3796593547        | 40   | HAVALİMANI            | -0.0005362378       |
| 20   | SANAYİ                 | 0.3743975163        | 41   | TOKİYOLUGÖNÜLTAŞCADDE | 0.0000000000        |
| 21   | İSTASYON               | 0.3641765714        |      |                       |                     |

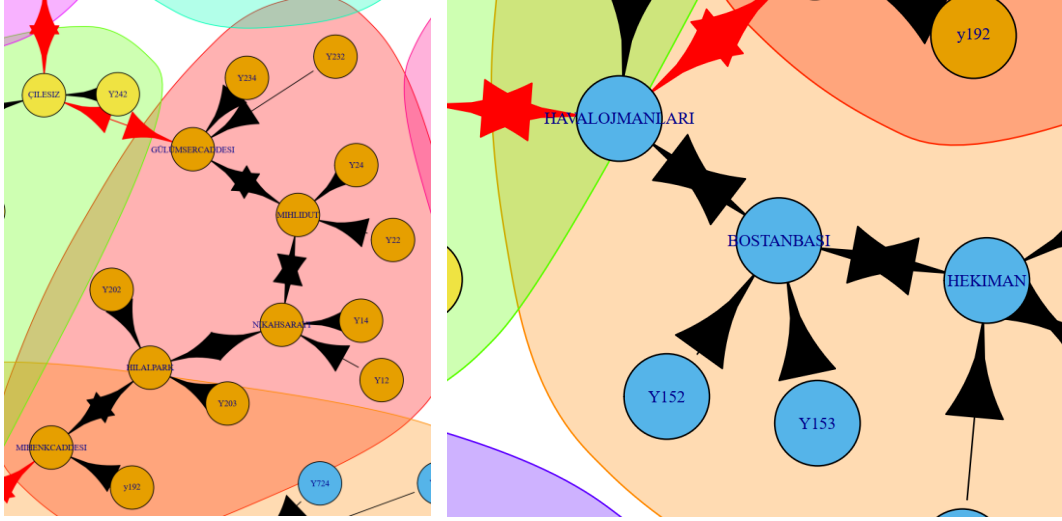
Walktrap algoritması modularity verilerine göre oluşan kavşak grupları Şekil 8’de verilmiştir. Ulaşım ağına 11 farklı topluluk tespit edilmiştir. Bu topluluklar içerisinde

noktaları yeşil dalga sisteminin uygulanabileceği seçenekler olarak görülebilir.

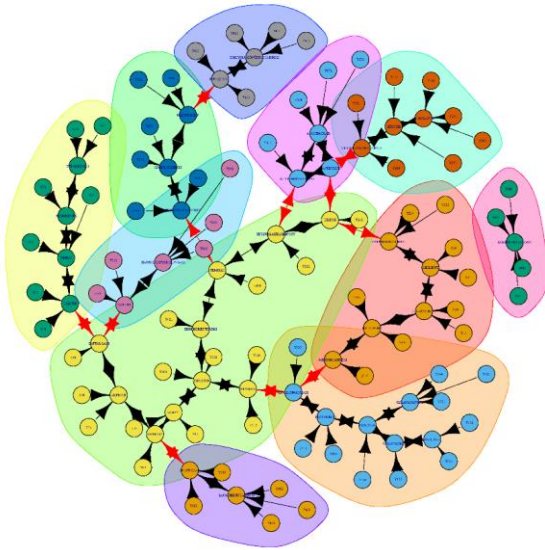


Walktrap algoritma sonucuna göre 11 grubun harita ve çizge üzerindeki görünüşleri Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 10'da Şekil 8'de belirtilen topluluklardan yeşil dalga sisteminin uygulanması için tercih edilen 2 grubun yakınlaştırılmış hali verilmiştir. Sinyalizasyon



Şekil 10. Yeşil dalga uygulanan kavşak noktaları (Green wave applied intersection points)



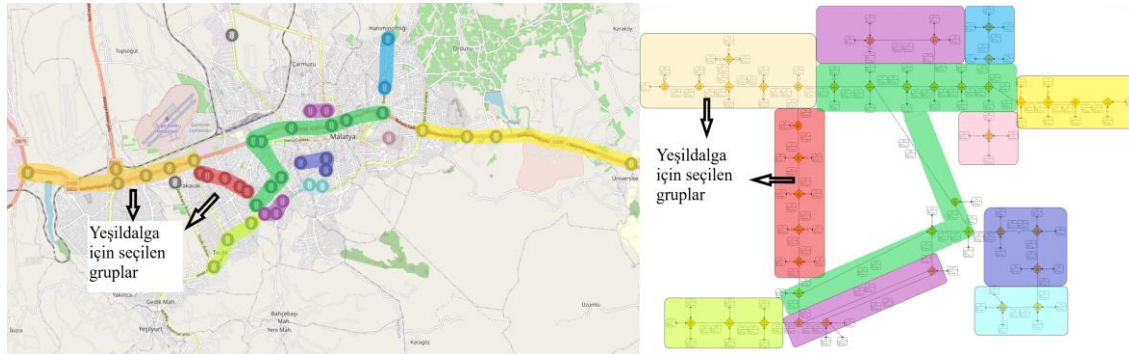
Şekil 8. Walktrap algoritması sonuçlarına göre kavşak grupları (Intersection groups according to Walktrap algorithm results)

sisteminde seçilen bu iki grup dan belirlenen kavşak noktaları yeşil dalga sistemine geçirilmiştir ve sinyalizasyon sisteminin önceki durumu ile karşılaştırmalı sonuçlarına yer verilmiştir.

Şekil 10'da belirtilen kavşak noktaları ile 2 farklı yeşil dalga koridoru oluşturulmuştur. Fahri Kayahan koridoru Mihenk caddesi, Hilal park, Nikah sarayı, Mihıldut ve Gülümser Caddesi isimli kavşak noktalarından oluşurken Çevre Yolu koridoru Hava lojmanları, Bostanbaşı ve Hekimhan kavşaklarından oluşmaktadır. Şekil 11'de belirtilen kırmızı alanda çevre yolu yeşil dalga koridoru gösterilmiştir. Turuncu ile çevrili bölgede ise Fahri Kayahan yeşil dalga koridoru belirtilmiştir.

Şekil 12'de yeşil dalga koridorları içindeki kavşak noktalarının konumları ve güzergâh yönleri belirtilmiştir.

Yeşil dalga koridorları belirtilen kavşak noktaları için çift yönlü olarak uygulanmıştır. Çizelge 2'de kavşak noktalarının yeşil dalga uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonra ki 1 aya ait araç sayım verileri ve değişimleri verilmiştir. Fahri Kayahan yeşil dalga koridoru 2020 yılbaşında devreye alınmıştır. 2019 Aralık

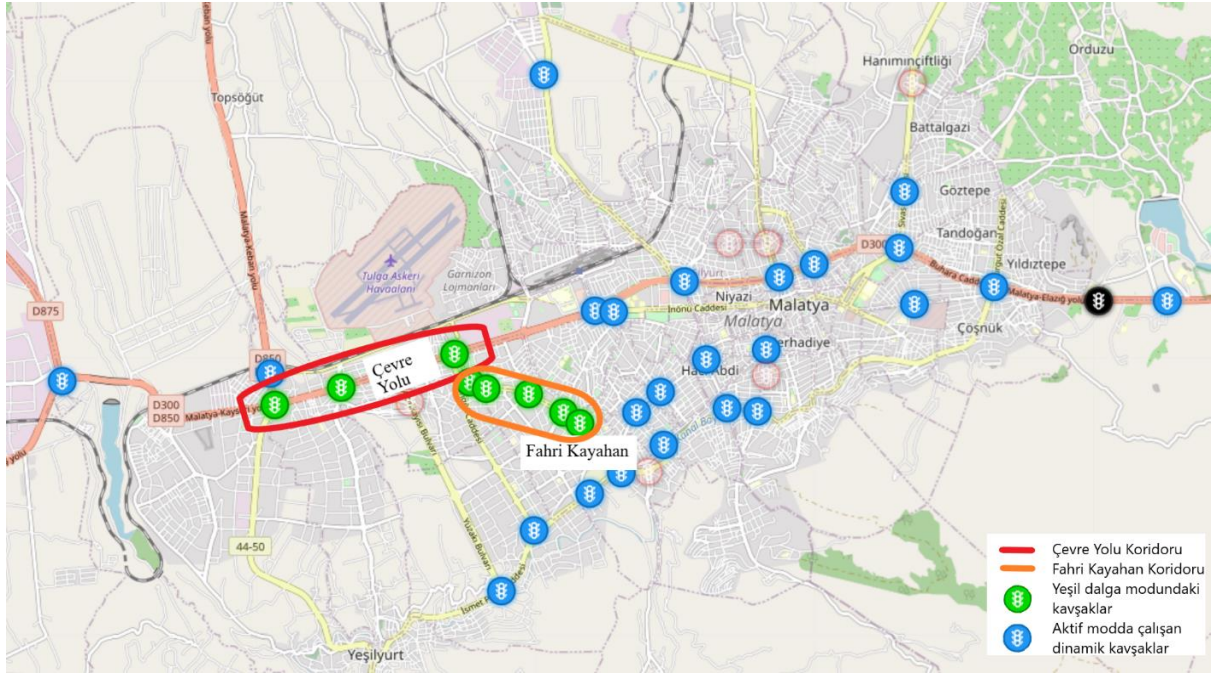


Şekil 9. Harita ve çizge üzerinde Walktrap kümeleme sonuçları (Walktrap clustering results on map and graph)

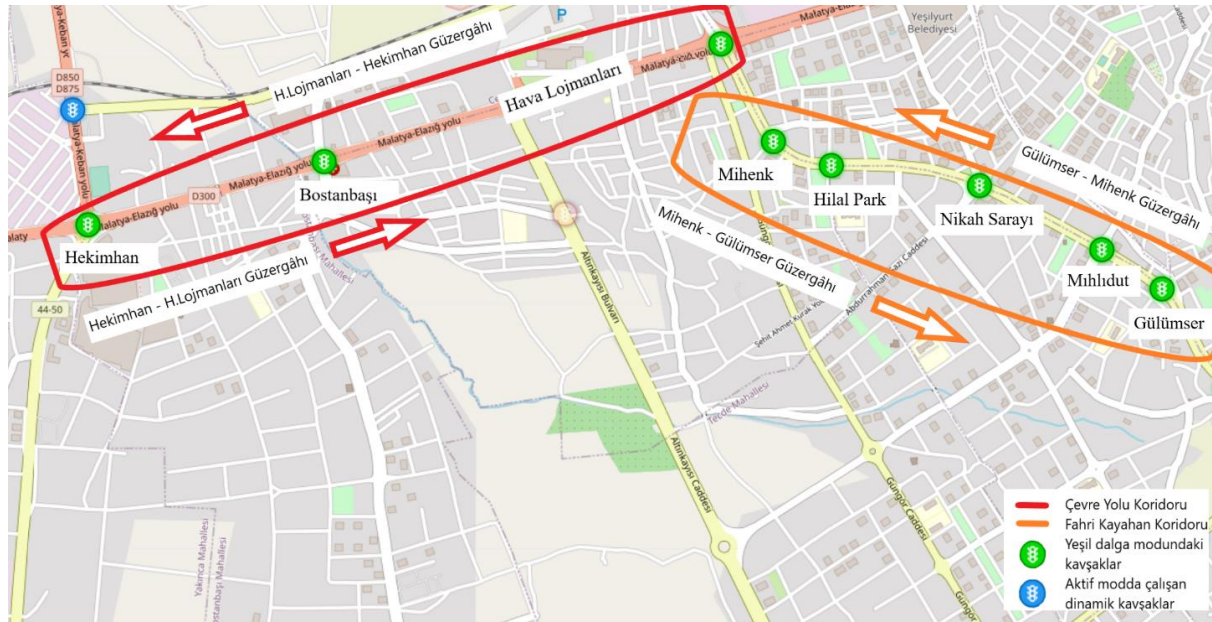
ayı ile 2020 Ocak aylarındaki değişim değerleri hesaplanmıştır. Çevre yolu yeşil dalga koridoru ise 2020 yılı Haziran ayı başında kurulmuştur.

2020 Mayıs ve Haziran aylarına ait araç geçiş değişimleri hesaplanmıştır. Çizelge 2'de her iki koridor için tüm kavşak noktalarının çift yönlü araç geçiş sayısı ve değişim değerlerini verilmiştir.

yeşil sn süresince 461.436 araç geçişi olurken, yeşil dalga uygulandıktan sonra 434.878 yeşil sn süresince 632.357 araç geçişi olmuştur. Yeşil sn süresi azalırken araç geçiş sayısında artış sağlanmıştır. 1 yeşil sn süresinde geçen araç sayısına bakıldığında % 41,83 oranında artış sağlanmıştır. Yeşil dalga sistemi tüm kavşak noktalarında iki yönlü olarak uygulanmıştır. Veriler



Şekil 11. Çevre yolu ve Fahri Kayahan yeşil dalga koridorları (Çevre yolu and Fahri Kayahan green wave corridors)



Şekil 12. Yeşil dalga koridorlarındaki kavşak noktaları ve güzergâhlar (Intersection points in green wave corridors and routes)

Çizelge 2' de Fahri Kayahan ve Çevre Yolu yeşil dalga koridorlarındaki kavşak noktalarına ait yeşil sn süreleri ve bu süreler içerisinde geçiş yapan araç sayılarına ait veriler verilmiştir. Veriler incelendiğinde örneğin 4413-Hava Lojmanları kavşağına Beydağı Hastanesi Geliş istikametinden yeşil dalga uygulanmadan önce 450.076

incelendiğinde karşı yöndeki Maşti Geliş istikametinden gelen birim zamandaki ortalama geçiş yapan araçların sayısında yeşil dalga sistemi ile % 33,34 oranında artış tespit edilmiştir.

Yeşil dalga koridoru bazında yapılan değerlendirmelere göre Fahri Kayahan koridoru yeşil dalga sistemi

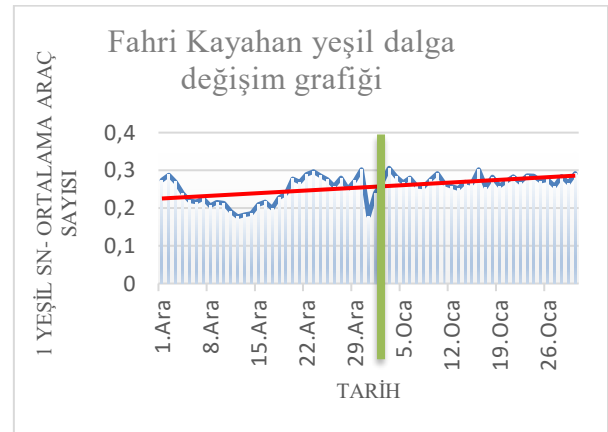
**Çizelge 2.** Kavşak noktalarının yeşil dalga verimliliği (Green wave efficiency of intersection points)

|                       | Kavşak                             | Yön                      | Aralık 2019               |             |               | Ocak 2020  |              |               |               |        |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|---------------|------------|--------------|---------------|---------------|--------|
|                       |                                    |                          | Yeşil Süre                | Araç Sayısı | Ortalama Araç | Yeşil Süre | Araç Sayısı  | Ortalama Araç | Değişim Oranı |        |
| Fahri Kayahan Bulvarı | Mihenk – Gültümser Güzergâhı       | 4419 - Mihenk Caddesi    | Hava Lojmanları Geliş     | 419.249     | 163.262       | 0,389      | 418.807      | 156.096       | 0,373         | -4,29% |
|                       |                                    | 4420 - Hilal Park        | Mihenk Cd Geliş           | 650.576     | 131.238       | 0,202      | 649.906      | 186.731       | 0,287         | 42,43% |
|                       |                                    | 4401 - Nikah Sarayı      | Hilal Park Geliş          | 526.030     | 133.888       | 0,255      | 510.262      | 131.592       | 0,258         | 1,32%  |
|                       |                                    | 4402 - Mihlhdut          | Nikah Sarayı Geliş        | 506.775     | 112.866       | 0,222      | 480.568      | 136.153       | 0,283         | 27,47% |
|                       |                                    | 4423 - Gültümser Caddesi | Mihlhdut Geliş            | 596.578     | 154.649       | 0,259      | 613.958      | 160.942       | 0,262         | 1,12%  |
|                       | Gültümser – Mihenk Güzergâhı       | 4423 - Gültümser Caddesi | Çilesiz Geliş             | 596.651     | 136.675       | 0,229      | 614.037      | 138.365       | 0,225         | -1,63% |
|                       |                                    | 4402 - Mihlhdut          | Gültümser Geliş           | 506.790     | 134.936       | 0,266      | 480.568      | 142.939       | 0,297         | 11,71% |
|                       |                                    | 4401 - Nikah Sarayı      | Mihlhdut Geliş            | 525.996     | 138.886       | 0,264      | 510.171      | 129.965       | 0,255         | -3,52% |
|                       |                                    | 4420 - Hilal Park        | Nikah Sarayı Geliş        | 650.178     | 138.550       | 0,213      | 648.027      | 147.525       | 0,228         | 6,83%  |
|                       |                                    | 4419 - Mihenk Caddesi    | Hilal Park Geliş          | 408.405     | 110.493       | 0,271      | 413.719      | 107.869       | 0,261         | -3,63% |
| Toplam                |                                    |                          | 5.387.228                 | 1.355.433   | 0,251         | 5.340.023  | 1.438.177    | 0,269         | 7,17 %        |        |
| Çevre Yolu            | Hekimhan-H. Lojmanları Güzergâhı   | 4416 - Hekimhan          | Özsan Sanayi Sitesi Geliş | 463.321     | 362.792       | 0,783      | 467.063      | 517.483       | 1,108         | 41,50% |
|                       |                                    | 4415 - Bostanbaşı        | Hekimhan Geliş            | 426.494     | 305.878       | 0,717      | 409.335      | 382.006       | 0,933         | 30,12% |
|                       |                                    | 4413 - Hava Lojmanları   | MAŞTİ Geliş               | 445.002     | 423.076       | 0,951      | 429.760      | 544.795       | 1,268         | 33,34% |
|                       | H. Lojmanları – Hekimhan Güzergâhı | 4413 - Hava Lojmanları   | Beydağı Hastanesi Geliş   | 450.076     | 461.436       | 1,025      | 434.878      | 632.357       | 1,454         | 41,83% |
|                       |                                    | 4415 - Bostanbaşı        | MAŞTİ Geliş               | 497.560     | 400.338       | 0,805      | 477.680      | 525.451       | 1,100         | 36,71% |
|                       |                                    | 4416 - Hekimhan          | Bostanbaşı Geliş          | 517.272     | 337.126       | 0,652      | 528.410      | 502.053       | 0,950         | 45,78% |
|                       |                                    | Toplam                   |                           |             | 2.799.725     | 2.290.646  | 0,818        | 2.747.126     | 3.104.145     | 1,130  |
|                       |                                    |                          |                           | Mayıs 2020  |               |            | Haziran 2020 |               |               |        |

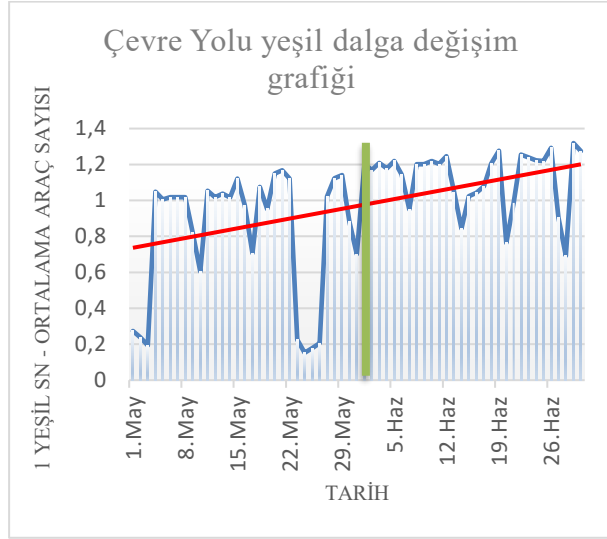
uygulanması öncesi 1 yeşil sn sürecinde ortalama 0.251 araç geçişi yapılırken yeşil dalga sistemi sonrasında ise ortalama 0.269 araç geçiş işlemi gerçekleşmiştir. Fahri Kayahan yeşil dalga koridoru için ortalama araç geçişindeki artış %7.17 oranında gerçekleşmiştir. Çevre Yolu koridoru ise yeşil dalga öncesi 1 yeşil sn süresince ortalama 0.818 araç geçişi olurken, yeşil dalga sonrası ortalama 1.130 araç geçişi olmuştur. Yeşil dalga sistemi ortalama araç geçişi sayısı bakımından, çevre yolu koridorunda %38.11 oranında artışa neden olmuştur. Her iki koridordaki artış oranı yeşil dalga sisteminin seçilen bölgeler için oldukça verimli olduğunu göstermektedir. Birim zamandaki ortalama araç geçişindeki artış yollardaki bekleme sürelerini azaltarak araçları atmosfere yaydıkları karbon salınımını azaltacak, yollardaki trafik sıkışıklığını azaltarak, ulaşım konforunu artıracaktır.

Her iki koridorun yeşil dalga sistemi uygulanması sonrası zamana karşı değişimi incelendiğinde Şekil 13'de kurulum öncesi ve sonrası Fahri Kayahan koridoruna ait 1 yeşil süresince geçen ortalama araç değişim grafiği verilmiştir. Grafikteki yeşil çizgi yeşil dalga sisteminin aktif duruma geçirildiği tarihi ifade etmektedir. Şekil 13 incelendiğinde 1 Ocak tarihi itibarı ile ortalama araç geçiş sayısının artışı ve ortalama araç geçiş sayılarının

daha stabil olarak gerçekleştiği sonucuna ulaşılmaktadır. 1 Ocak öncesi ortalama araç geçiş sayısının dalgalı olarak değiştiği, farklı günlerdeki araç geçiş sayım farklarının daha yüksek olduğu ve yeşil dalga sisteminin aktif olduğu süreçten daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca kırmızı renk ile belirtilen ortalama araç geçişini ifade eden eğilim çizgisi de yeşil dalga sisteminin başarısını göstermektedir.


**Şekil 13.** Fahri Kayahan yeşil dalga değişim grafiği (Fahri Kayahan green wave change chart)

Şekil 14’de çevre yolu yeşil dalga değişim grafiği verilmiştir. Grafikteki yeşil çizgi yeşil dalga sisteminin uygulanmaya başlandığı zamanı ifade etmektedir. Grafik incelendiğinde yeşil dalga sonrası birim zamanda geçen ortalama araç sayısında önemli bir artış olduğu görülmektedir. Grafikteki kırmızı çizgi ise 1 yeşil sn süresince geçen ortalama araç sayısına ait eğilimi göstermektedir. Eğilim çizgesindeki yükseliş, sistemin ortalama araç geçişindeki artış hakkında önemli sonuçlar vermektedir.



Şekil 14. Çevre yolu yeşil dalga değişim grafiği (Çevre yolu green wave change chart)

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Malatya kenti özelinde topluluk tespiti algoritması kullanılarak ulaşım ağlarında yeşil dalga sisteminin uygulanması için en uygun kavşak noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. 2019 yılına ait 40 kavşak ve 158 yoldan alınan araç sayım ve sinyalizasyon verileri kullanılarak sinyalizasyon sistemi ulaşım ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan ulaşım ağına Walktrap topluluk tespiti algoritması kullanılarak benzer sürelerde benzer araç geçiş oranlarına sahip kavşak noktaları arasında gruplandırılmalar oluşturulmuştur. Elde edilen kavşak gruplarından 2 tanesi (Fahri Kayahan ve Çevre Yolu) yeşil dalga uygulanacağı koridorlar olarak belirlenmiştir. Her iki koridordaki kavşak noktalarında çift yönlü olarak yeşil dalga sistemi sahada uygulanmıştır ve ayrıntılı sonuçlarına yer verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Fahri Kayahan koridorundaki tüm kavşakların kümülatif olarak birim zamanda ortalama araç geçişinde % 7.17 oranında artış sağlanmıştır. Çevre Yolu yeşil dalga koridoruna ait sonuçlarda ise birim zamanda ortalama araç geçişinde % 38.11 oranında artış tespit edilmiştir. Çevre Yolu koridorunda araç yoğunluklarının güzergâh boyunca büyük oranda kesintisiz olarak devam etmesi yeşil dalga verimliliğini önemli oranda artırmaktadır. Fahri Kayahan koridoruna kavşak noktaları dışında çok sayıda tali yol bağlantısı olması ve bu nedenle kavşak noktalarına düzensiz katılımın artması Fahri Kayahan

koridorunun verimliliğinin Çevre Yolu koridorunun altında seyretmesine neden olmaktadır. Her iki yeşil dalga koridoruna ait sonuçlar karbon emisyonlarının azaltılması, trafikteki ortalama bekleme sürelerinin azaltılması ve ulaşım konforunun artırılması açısından önemli bir başarıdır. Literatürde herhangi bir topluluk tespiti algoritması kullanılarak yeşil dalga koridorlarının belirlenmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışma bu sebeple özgündür ve Walktrap algoritmasının verimli yeşil dalga koridorlarının tespit edilmesinde başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde sinyalizasyon ve araç sayım verileri ile katkı sağlayan Malatya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Hizmetleri Dairesi Başkanlığına teşekkür ederiz.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Furkan ÖZTEMİZ:** Makaleyi yazmış, deneysel sonuçları üretip saha uygulamasını gerçekleştirmiştir.  
**Ali KARCI:** Deneyle ilgili yapılmış ve sonuçları analiz etmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Çakıcı, Z. & Murat, Y. S. "Sinyalize Dönel Kavşaklarda Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Sinyal Süre Optimizasyonu", *El-Cezeri*, 8 (2): 635-651, (2021).
- [2] Şengül, R. & Yüksel Altıntaş, H., "Akıllı Kentin Bir Bileşeni Olarak Akıllı Ulaşım Uygulamalarının İncelenmesi: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Örneği", *Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (UKSAD)*, 6 (2): 487-502, (2020).
- [3] Bloder, E.; Jäger, G., "Is the Green Wave Really Green? The Risks of Rebound Effects When Implementing "Green" Policies", *Sustainability*, 13, 5411, (2021).
- [4] Pamuk, N. "Trafik Sinyalizasyon Sisteminde Akıllı Kavşak Kontrolü", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 312-319, (2021).
- [5] Ö. Kart, O. Ç. Genç ve F. Basciftci, "Speed Compatible Green Wave Corridor with The Internet of Things", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 411-416, Kas. (2021).
- [6] Ye Hong & Yao Yao, "Hierarchical community detection and functional area identification with OSM roads and complex graph theory", *International Journal of*

- Geographical Information Science*, 33(8):1569-1587, (2019).
- [7] Kiers, Martijn & Visser, Chris. "The effect of a green wave on traffic emissions.", 10. *Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien IEWT*, (2017).
- [8] Sebastian Wandelt, Xing Shi, Xiaoqian Sun, "Estimation and improvement of transportation network robustness by exploiting communities", *Reliability Engineering & System Safety*, 206,107307, (2021).
- [9] Chen, Cheng & Ai, Yunfeng & Zhu, Fenghua. "Network zoning based on community detection for urban traffic control.", *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings*, ITSC. 1894-1899, (2012).
- [10] L. Chen and C. Chang, "Cooperative Traffic Control With Green Wave Coordination for Multiple Intersections Based on the Internet of Vehicles," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(7):1321-1335, July (2017).
- [11] Niu, Dening & Sun, Jian. "Eco-Driving Versus Green Wave Speed Guidance for Signalized Highway Traffic: A Multi-Vehicle Driving Simulator Study", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 1079-1090. (2013).
- [12] Wu, Xiaoping & Deng, Shuai & Du, Xiaohong & Ma, Jing. "Green-Wave Traffic Theory Optimization and Analysis", *World Journal of Engineering and Technology*, 02, 14-19, (2014).
- [13] L. Huang, Y. Yang, H. Gao, X. Zhao and Z. Du, "Comparing Community Detection Algorithms in Transport Networks via Points of Interest," in *IEEE Access*, 6,29729-29738, (2018).
- [14] Cao C., Cui F., Guo G., "Two-direction Wave Control Signal Based on Particle Swarm Optimization", *Applied Mechanic and Materials*, 26-28, 507-5011, (2010).
- [15] Uçkan, T. , Hark, C. & Karci, A. "SSC: Clustering Of Turkish Texts By Spectral Graph Partitioning" . *Politeknik Dergisi*, 24 (4): 1433-1444 , (2021)
- [16] Bilgin, T. & Oğuz, M. "A New Approach to Minimize Memory Requirements of Frequent Subgraph Mining Algorithms" . *Politeknik Dergisi*, 24 (1):237-246, (2021).
- [17] Özinal, Y. & Uz, V., "Dönel Kavşak Geometrik Elemanlarının Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Literatür Işığında Değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 24 (1):283-297, (2021).
- [18] Öztemiz, F. & Karci, A., "Malatya İli ulaşım ağı kavşak noktalarının merkezlilik analizi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37 (1):511-528, (2021).
- [19] Öztemiz, F. & Karci, A., "Bağlı Graflarda Etkili Dğümlerin Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24 (70):143-155, (2022).
- [20] Harenberg, S., Bello, G., Gjeltrema, L., Ranshous, S., Harlalka, J., Seay, R., Padmanabhan, K. and Samatova, N., "Community detection in large-scale networks: a survey and empirical evaluation". *WIRES Comput Stat*, 6: 426-439, (2014).
- [21] Fortunato S., "Community detection in graphs", *Physics Reports*, 486(3-5):75-174, (2010).
- [22] Natalie R. Smith, Paul N. Zivich, Leah M. Frerichs, James Moody, Allison E. Aiello, "A Guide for Choosing Community Detection Algorithms in Social Network Studies: The Question Alignment Approach", *American Journal of Preventive Medicine*, 59(4): 597-605, (2020).
- [23] CommunityDetection, <https://towardsdatascience.com/community-detection-algorithms-9bd8951e7dae>, Erişim Tarihi: 16.02.2022.
- [24] Gates Kathleen M., Henry Teague, Steinley Doug, Fair Damien A., "A Monte Carlo Evaluation of Weighted Community Detection Algorithms", *JOURNAL=Frontiers in Neuroinformatics*, 10, (2016).
- [25] Hoffman M, Steinley D, Gates KM, Prinstein MJ, Brusco MJ. "Detecting Clusters/Communities in Social Networks", *Multivariate Behav Res.*, 53 (1) : 57-73 (2018)