

T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULAŞIM AĞLARININ  
GRAF TABANLI ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Akın ÇAĞLAR

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÖZTEMİZ

ŞUBAT 2025

**T.C**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ULAŞIM AĞLARININ**  
**GRAF TABANLI ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Akın ÇAĞLAR**  
**(36223632011)**

**Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÖZTEMİZ**

**ŞUBAT 2025**

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ULAŞIM AĞLARININ  
GRAF TABANLI ANALİZLERİ

Tezi Hazırlayan: Akın ÇAĞLAR  
Yüksek Lisans Tezi

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÖZTEMİZ'e,

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince benden her türlü desteklerini aileme

teşekkür ederim.



## ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Ulaşım Ağlarının Graf Tabanlı Analizleri ” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Akın ÇAĞLAR



## İÇİNDEKİLER

|                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ .....                                   | i    |
| ONUR SÖZÜ .....                                           | ii   |
| İÇİNDEKİLER.....                                          | iii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                    | v    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                      | vi   |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....                            | vii  |
| ÖZET .....                                                | viii |
| ABSTRACT .....                                            | ix   |
| 1. GİRİŞ .....                                            | 1    |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ.....                                   | 3    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER .....                            | 16   |
| 3.1 Kullanılan Veriseti .....                             | 19   |
| 3.2 Merkezlilik Algoritmaları .....                       | 20   |
| 3.2.1 PageRank algoritması .....                          | 20   |
| 3.2.2 Closeness merkezliyeti algoritması .....            | 22   |
| 3.2.3 Betweenness merkezliyeti algoritması .....          | 23   |
| 3.2.4 Malatya merkezlilik algoritması .....               | 24   |
| 3.3 Malatya Vertex Cover Algoritması .....                | 25   |
| 3.4 Topluluk Tespit Algoritmaları .....                   | 26   |
| 3.4.1 Walktrap algoritması .....                          | 26   |
| 3.4.2 Optimal modularity algoritması.....                 | 27   |
| 3.4.3 Spinglass algoritması .....                         | 28   |
| 3.5 Bağlantı Tahmini ve Maksimum Akış Algoritmaları ..... | 29   |
| 3.5.1 Bağlantı tahmini.....                               | 30   |
| 3.5.1.1 Jaccard benzerlik katsayısı.....                  | 30   |
| 3.5.1.2 Cosine benzerliği.....                            | 31   |
| 3.5.2 Maksimum akış.....                                  | 32   |
| 4. DENEYSEL SONUÇLAR .....                                | 33   |
| 4.1 Merkezlilik Algoritmaları Analiz Sonuçları .....      | 34   |
| 4.1.1 RageRank algoritması sonuçları .....                | 34   |
| 4.1.2 Closeness algoritması sonuçları.....                | 38   |
| 4.1.3 Betweenness algoritması sonuçları.....              | 41   |
| 4.2 Malatya Vertex Cover Algortması Sonuçları .....       | 45   |
| 4.3 Topluluk Tespiti Algoritmaları Analiz Sonuçları ..... | 46   |
| 4.3.1 Walktrap algortması sonuçları .....                 | 46   |
| 4.3.2 Optimal modularity algoritması sonuçları .....      | 47   |
| 4.3.3 Spinglass algoritması sonuçları .....               | 49   |
| 4.4 Bağlantı Tahmini Algoritmaları Analiz Sonuçları ..... | 50   |
| 4.4.1 Jaccard benzerlik yöntemi .....                     | 50   |
| 4.4.2 Cosine benzerlik yöntemi .....                      | 52   |
| 4.5 Maksimum Akış Algoritmaları Analiz Sonuçları .....    | 54   |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                | 56   |
| 5.1 Merkezlilik Analizleri.....                           | 56   |
| 5.2 Topluluk Tespiti Analizleri.....                      | 56   |
| 5.3 Bağlantı Tahmini ve Maksimum Akış Analizleri.....     | 57   |
| 5.4 Pratik Uygulamalar ve Öneriler.....                   | 57   |
| 5.5 Gelecekteki Çalışmalar .....                          | 58   |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>KAYNAKLAR.....</b> | <b>59</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b> | <b>63</b> |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1 : PageRank algoritması sonuçlarına göre önemli kavşaklar .....     | 34 |
| Çizelge 4.2 : Closeness algoritması sonuçlarına göre önemli kavşaklar .....    | 38 |
| Çizelge 4.3 : Betwenness algoritması sonuçlarına göre önemli kavşaklar. ....   | 42 |
| Çizelge 4.4 : Malatya vertex cover algoritması göre kapsayıcı kavşaklar .....  | 45 |
| Çizelge 4.5 : Kavşakların toplam verilerinin Jaccard bağlantı tahminleri ..... | 51 |
| Çizelge 4.6 : Kavşakların toplam verilerinin Cosine bağlantı tahminleri .....  | 53 |
| Çizelge 4.7 : Kavşakların iki aylık verileri karşılaştırması .....             | 55 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|            |                                                                        |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1  | Yapılan çalışmadaki kavşakların çizge hali. ....                       | 17 |
| Şekil 3.2  | Yapılan çalışmadaki kavşakların Google Earth yerleşimi. ....           | 17 |
| Şekil 3.3  | Sayım verisi toplamak için sahada kurulan Bluetooth cihazları. ....    | 18 |
| Şekil 3.4  | Sunulan çalışmanın grafiksel özeti.....                                | 29 |
| Şekil 4.1  | Malatya kenti ulaşım ağı çizelgesi. ....                               | 34 |
| Şekil 4.2  | PageRank algoritması Temmuz ayı verileri sonuç görseli.....            | 36 |
| Şekil 4.3  | PageRank algoritması Ağustos ayı verileri sonuç görseli. ....          | 37 |
| Şekil 4.4  | PageRank algoritması iki aylık toplam verilerin sonuç görseli. ....    | 37 |
| Şekil 4.5  | Closeness algoritması Temmuz ayı verileri sonuç görseli. ....          | 40 |
| Şekil 4.6  | Closeness algoritması Ağustos ayı verileri sonuç görseli. ....         | 40 |
| Şekil 4.7  | Closeness algoritması iki aylık toplam verilerin sonuç görseli.....    | 41 |
| Şekil 4.8  | Betweenness algoritması Temmuz ayı verileri sonuç görseli.....         | 44 |
| Şekil 4.9  | Betweenness algoritması Ağustos ayı verileri sonuç görseli. ....       | 44 |
| Şekil 4.10 | Betweenness Algoritması iki aylık toplam verilerin sonuç görseli. .... | 45 |
| Şekil 4.11 | Walktrap topluluk tespit yöntemine göre benzer kavşaklar. ....         | 47 |
| Şekil 4.12 | Optimal topluluk tespit yöntemine göre benzer kavşaklar.....           | 48 |
| Şekil 4.13 | Spinglass topluluk tespit yöntemine göre benzer kavşaklar. ....        | 50 |
| Şekil 4.14 | Tüm kavşaklara ait Jaccard benzerlik sıcaklık haritası. ....           | 52 |
| Şekil 4.15 | Tüm kavşaklara ait Cosine benzerlik sıcaklık haritası. ....            | 54 |

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

|              |                                        |
|--------------|----------------------------------------|
| <b>MVCP</b>  | : Minumum Vertex Cover problemi        |
| <b>NP</b>    | : Deterministik olmayan polinom zamanı |
| <b>MVC</b>   | : Minumum Vertex Cover                 |
| <b>PTN</b>   | : Toplu taşıma ağı                     |
| <b>MCPTN</b> | : Çok katmanlı yolcu taşıma ağı        |
| <b>DBA</b>   | : Sürüş davranış analizi               |
| <b>MMA</b>   | : Malatya Matching Algoritması         |

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ULAŞIM AĞLARININ GRAF TABANLI ANALİZLERİ

AKIN ÇAĞLAR

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

63+IX sayfa

2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Furkan ÖZTEMİZ

Bu çalışmada, bir kentin ulaşım ağına ait araç geçiş profilleri analiz edilerek, şehirdeki önemli kavşak noktalarının, yeşil dalga koridorlarının, bağlantı tahminlerinin ve maksimum trafik akışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Malatya kentine ait, 54 kavşak noktasından elde edilen bluetooth verileri ve bu noktalar arasındaki 147 bağlantıdan oluşan özgün veri seti kullanılarak, kentin ulaşım ağı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kavşak noktalarının merkezlilik analizinde PageRank, Closeness ve Betweenness gibi klasik merkezlilik algoritmalarının yanı sıra, Malatya merkezlilik yöntemi de kullanılmıştır. Bu yöntemler, kavşakların trafik yoğunluğu ve stratejik önem derecelerini belirlemek amacıyla kullanılarak şehir içi trafik yönetimi için yeni bakış açıları sunmuştur. Topluluk tespiti kapsamında, daha önce kullanılan Walktrap, Optimal ve Spinglas yöntemleri de dahil edilmiştir; böylece, ulaşım ağının alt bölgesel yapıları ve yeşil dalga koridorlarının daha hassas bir şekilde tanımlanması sağlanmıştır. Ayrıca, ağdaki mevcut yapı temel alınarak gelecekteki potansiyel bağlantıların tahmin edilmesi için bağlantı tahmini yöntemlerinden Jaccard ve Cosine benzerlik ölçütleri kullanılmış ve bu doğrultuda şehirde yeni yolların ve kavşakların nerelerde oluşabileceğine dair öngörülerde bulunulmuştur. Maksimum akış algoritmasının uygulanması ile iki nokta arasındaki araç geçiş kapasitesi analiz edilmiş ve ağ üzerindeki darboğaz noktalarının belirlenmesi mümkün olmuştur. Çalışmada, R programlama dili ve igrph kütüphanesi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar sayısal ve görsel olarak tezde sunulmuştur. Bu sonuçlar, şehir içi trafik planlamasında iyileştirmeler yapılması ve yoğun kavşak noktalarının belirlenmesi için önemli bir karar destek sistemi sağlamış, kentin ulaşım altyapısının daha verimli hale getirilmesine katkıda bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çizge teorisi, Trafik verisi analizi, Topluluk tespiti, Merkezlilik ölçütleri

## ABSTRACT

Master Thesis

### GRAPH-BASED ANALYSIS OF TRANSPORTATION NETWORKS

AKIN ÇAĞLAR

Inonu University  
Graduate School of Nature and Applied Sciences  
Department of Software Engineering

63+IX sayfa

2025

Supervisor: Dr. Öğr.Üyesi Furkan ÖZTEMİZ

This study aims to analyze vehicle passage profiles within a city's transportation network to identify critical intersections, green wave corridors, link predictions, and maximum traffic flow. Using an original dataset derived from 54 intersections in Malatya and 147 connections between these intersections, the city's transportation network was examined in detail. Centrality analyses employed classical centrality algorithms such as PageRank, Closeness, and Betweenness, alongside the Malatya centrality method. These methods were utilized to determine the traffic intensity and strategic importance of intersections, offering new perspectives for urban traffic management. In the context of community detection, previously applied methods such as Walktrap, Optimal, and Spinglass were also included, enabling more precise identification of subregional structures and green wave corridors within the transportation network. Furthermore, based on the existing network structure, link prediction methods using Jaccard and Cosine similarity measures were employed to forecast potential future connections, providing insights into where new roads and intersections might emerge. The application of the maximum flow algorithm facilitated the analysis of vehicle passage capacity between two points and enabled the identification of bottlenecks within the network. Analyses were conducted using the R programming language and the igraph library, with the results presented both numerically and visually in the study. These findings provide a significant decision support system for improving urban traffic planning and identifying high-traffic intersections, ultimately contributing to the enhancement of the city's transportation infrastructure.

**Keywords:** Graph Theory, Traffic Data Analysis, Community Detection, Centrality Measures

## 1. GİRİŞ

Ulaşım ağları, şehirlerin dinamik yapısının en önemli bileşenlerinden biridir ve bu ağların etkin kullanılması, şehirlerin sürdürülebilirliği için hayati bir önem taşır. Günümüzde şehir içi trafiğin yoğun ve karmaşıklığı, artan nüfus ve araç sayısı ile birlikte daha da belirgin hale gelmektedir. Bu nedenle, trafik akışını optimize etmek ve ulaşım ağlarının etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli analiz yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Çalışmanın temel amacı, gerçek ve bu çalışmaya özgün trafik verilerini kullanarak topluluk tespiti algoritmalarını uygulamak suretiyle benzer araç geçiş profiline sahip kavşak noktalarını belirlemek, bağlantı tahmini yöntemlerini kullanarak kavşaklar arasındaki olası yeni bağlantıları öngörmek ve maksimum akış algoritmaları ile trafik akışını optimize etmektir. Malatya şehrinin 54 kavşak noktasından elde edilen Bluetooth verileri ile oluşturulan veri seti, şehir içi trafik akışını daha iyi analiz etmek ve yoğun trafiğe sahip bölgeleri daha etkin bir şekilde yönetmek için kritik bilgiler sunmaktadır.

Kullanılan veri seti, 54 kavşak ve bu kavşaklar arası 147 bağlantıyı içermekte olup, kentin ulaşım ağı üzerindeki etkileşimleri detaylı bir şekilde incelemeyi mümkün kılmaktadır. Veri seti, kavşak noktalarının trafik yoğunluğu ve araç geçiş profilleri hakkında bilgi sağlamakta, bu sayede trafiğin akışını etkileyecek anahtar kavşakların belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma kapsamında, kavşakların merkezilik analizi için PageRank, Closeness ve Betweenness gibi klasik merkezilik algoritmalarının yanı sıra, Malatya merkezilik yöntemi de kullanılmıştır. Ağdaki kritik noktaları bulmak için vertex cover kullanılmıştır. Bu yöntemler, kavşakların ulaşım ağı içindeki rolünü ve önemini daha iyi kavrayabilmek için uygulanmıştır.

Bağlantı tahmini, ulaşım ağında eksik veya potansiyel olabilecek bağlantıları öngörmek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Çalışmada, bağlantı tahmininde Jaccard ve Cosine Benzerlik ölçütleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, kavşaklar arasındaki benzerlikleri hesaplayarak, trafiğin akışını çok daha verimli hale getirecek yeni bağlantı önerilerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede, kullanılan ulaşım ağındaki yapısal boşluklar belirlenmiş ve alternatif trafik rotaları oluşturulmasına katkı sağlanmıştır.

Bunun yanı sıra, maksimum akış analizi, ulaşım ağı üzerindeki trafik kapasitesini artırmak, tıkanıklıkları gidermek ve trafiği rahatlatmak amacıyla uygulanmıştır. Maksimum akış için çalışmada, Ford-Fulkerson algoritması kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, kavşaklar ve yollar arasındaki akış kapasitesini analiz ederek, trafik akışının en yüksek düzeyde optimize edilmesini sağlamıştır. Özellikle yoğun kavşaklarda oluşan trafik sıkışıklıklarının çözümüne yönelik kritik bilgiler elde edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Topluluk tespiti, ulaşım ağının altyapısını ve bölgesel dinamiklerini anlamak için çok önemli hatta kritik bir aşamadır. Çalışmada, Walktrap, Optimal ve Spinglas yöntemleri gibi farklı topluluk tespiti algoritmaları kullanılarak kavşaklar arasındaki benzerlikler belirlenmiş ve yeşil dalga koridorlarının tanımlanması sağlanmıştır. Bu yöntemler, şehir içindeki trafik akışını optimize etmek için gerekli olan alt bölgesel yapıların ve ilişkilerin daha hassas bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu tez çalışması, şehir içi trafik yönetiminde önemli katkılar sağlayacak ve şehirlerin ulaşım altyapısının daha verimli hale getirilmesine destek olacaktır. Gerçek verilere dayalı olarak gerçekleştirilen bu analiz, şehir içindeki trafik akışını iyileştirmeye yönelik çeşitli yaklaşımlar sunarak, yoğun kavşak noktalarının yönetimi konusunda karar alıcılar için önemli bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca, bu çalışma, kentin ulaşım planlaması için yeni stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunarak, trafik sorunlarının çözümüne yönelik sağlam bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın motivasyonu, artan trafik sorunlarına karşı çözüm arayışlarının bir parçası olarak, ulaşım ağlarının daha etkin ve sürdürülebilir yönetimini sağlamaktır. Bu bağlamda, gerçekleştirilen analizlerin, şehirlerin ulaşım politikaları ve planlamaları üzerinde derinlemesine etkileri olacağı düşünülmektedir. Böylece, bu çalışma, hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara katkıda bulunarak, şehir içi trafik yönetiminde daha bilinçli ve veri odaklı kararların alınmasına zemin hazırlayacaktır.

Çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, çalışmanın arka planı ve ilgili literatür tartışılmaktadır. İkinci bölümde, veri seti ve yöntemler ele alınarak merkezlilik, topluluk tespiti, bağlantı tahmini ve maksimum akış algoritmalarının nasıl uygulandığı açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, analiz sonuçları ve bulgular yer almaktadır. Son bölüm olan dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları ve gelecekteki çalışmalara dair öneriler sunulmaktadır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Çalışmamızda, ulaşım ağındaki yoğun kavşak noktalarının tespit edilmesi amacıyla çeşitli merkezlilik yöntemleri uygulanmıştır. Bu kavşaklar, şehir içindeki trafik akışını optimize etmek ve kritik geçiş noktalarında yoğunluğu azaltmak için odaklanması gereken alanları belirlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Yoğun kavşakların doğru bir şekilde belirlenmesi, şehir içi ulaşım ağlarında trafik yoğunluğunu en aza indirme potansiyelini artırırken, aynı zamanda bu kavşakların trafik akışındaki rolünü de net bir şekilde ortaya koyacaktır. Çalışmamızın en önemli yanı, kullanılan veri setidir; bu veri seti, ilk kez bu çalışma kapsamında bir çizge modeli oluşturularak analiz edilmiştir. Analiz için elde edilen veriler, Malatya kenti caddelerinde yer alan önemli kavşak noktalarına yerleştirilen Bluetooth araç sayım cihazlarından toplanmıştır. Gerçek trafik verilerinin kullanılması, analizlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırarak şehir içi trafik yönetimi ve planlamasında önemli bir katkı sağlamaktadır. Çalışmamızın iki temel aşaması, düğümlerin topluluk tespitinin gerçekleştirilmesi ve merkezlilik değerleri üzerinden etkinliklerinin belirlenmesidir. Günümüzde, topluluk tespiti yöntemleri kullanılarak verimli yeşil dalga koridorlarının belirlenmesi[1] ve merkezlilik yöntemleri ile etkili kavşak noktalarının tespit edilmesi[2] üzerine yapılan çalışmalar, trafik yönetimi ve planlamasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma, hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara katkıda bulunarak, ulaşım ağlarının daha etkin bir şekilde yönetilmesine yönelik yenilikçi yaklaşımlar sunmayı hedeflemektedir.

Graf teorisi, bir çizge yapısı içinde bulunan etkili düğümlerin belirlenmesini hedefler. Çizgedeki bu etkili düğümler, sosyal ağlarda baskın bireylerin[3], ulaşım ağlarında yoğun ve kritik noktalardaki kavşakların[4] veya borsa sistemlerinde birbiriyle etkileşimde olan firmalar[5] gibi birçok farklı alanda çözümler sunar.

Literatürde çizge teorisi ile modellenmiş ağlar üzerinde hem merkezlilik yöntemleri hem de topluluk tespiti yöntemleri ile çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Takip eden bölümde bu çalışmalardan bir kısmı üç başlık altında incelenmiştir.

Merkezlilik yöntemleri ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar;

Bu makale, ulaşım ağlarındaki düğümlerin önemini belirlemek için yeni bir merkeziyetlilik metriği olan "ulaşım merkeziyetliliğini" tanıtıyor. Bu metrik, tüm yolları ve

trafiği dikkate alarak düğümlerin merkezietini hesaplar ve trafik verisi olmasa bile kullanılabilir. Seul ve Delhi'nin banliyö ağlarında bu metriğin faydası gösterilmiştir.[6]

Adaptive PageRank Algoritması'nın bir varyantını kullanarak, çok katmanlı ağlarda kritik düğümleri belirlemenin daha etkili bir yolu önerilmektedir. Shenzhen, Çin'deki bir ulaşım ağı üzerinde yapılan analizler, bu yöntemin düğümler arasındaki mekansal etkileşimleri dikkate alarak kritik düğümleri belirlemede iyi bir yorumlanabilirlik sunduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, özellikle düğümler arasında mekansal etkileşimlerin bulunduğu kentsel ulaşım ağlarında, karmaşık ağ teorisi ve merkezilik ölçümlerinin uygulanmasına dair yeni bakış açıları sunabilir.[7]

Ulaşım ağlarının kritik parçaları olan köprüler, doğal afetlere karşı hassastır ve hasar gördüklerinde ağda kesintilere yol açarak iyileşmeyi zorlaştırır. Bu çalışma, köprülerin önemini belirlemek için köprü ağlarında köprülerin merkeziliğini temel alan bir yöntem önermektedir. Yöntem, kullanıcı dengesi ve topolojiyi dikkate alarak hızlı ve etkili bir analiz sağlar. Kaliforniya'daki bir köprü ağı üzerinde yapılan uygulamada, yeni köprüler inşa etmenin, mevcut köprüleri güçlendirmeye göre sismik performansı daha fazla artırdığı gösterilmiştir.[8]

Ulaşım ağlarındaki merkezilik ölçütlerinin, iklim değişikliğine uyum kapsamında incelenmesi üzerine kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur. Çalışma, aşırı hava olayları ve iklimle ilişkili felaketler nedeniyle işlevsiz hale gelebilecek kritik ulaşım düğümlerinin önemini anlamaya odaklanmaktadır. Kritik düğümler belirlendiğinde, bu düğümlerin korunması ve işlevselliğinin sağlanması için kaynakların daha etkili bir şekilde tahsis edilebileceği belirtilmektedir. Çalışmada derece, yakınlık, ara merkezilik, özvektör ve Katz gibi 17 merkezilik ölçütü değerlendirilmiş ve bu ölçütlerin ulaşım ağlarındaki kullanılabilirliği tartışılmıştır. Mevcut ölçütlerin trafik ve ulaşım ile ilgili parametreleri dikkate alacak şekilde yeniden formüle edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Aksi takdirde, merkezilik ölçütleri sadece topolojik veya yapısal bir bakış açısıyla düğüm önemini ortaya koymakta ve ulaşım ağlarındaki gerçek anlamlarını yansıtamamaktadır. Yeniden formülasyon, merkezilik ölçütlerinin ulaşım ağlarına uygun bir şekilde uygulanmasını ve ağ elemanlarının öneminin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu çalışma, ulaşım planlamacıları ve politika yapıcılar için önemli çıkarımlara sahiptir.[9]

Web'in hızla büyümesiyle birlikte, kullanıcılar zengin hiper yapılar arasında kaybolabilmektedir. Kullanıcılara ihtiyaçlarına uygun bilgiyi sunmak, web sitesi sahiplerinin öncelikli hedefidir. Bu nedenle, web içeriğini bulmak ve kullanıcı davranışlarından ilgi ve

ihtiyaçları çıkarmak giderek daha önemli hale gelmiştir. Web madenciliği, kullanıcı davranışlarını, sayfa içeriklerini ve erişilen URL sıralarını analiz ederek kullanıcıları ve sayfaları kategorize etmek için kullanılır. Bu yaklaşımda web yapı madenciliği önemli bir rol oynar. Web yapı madenciliğinde sıkça kullanılan iki sayfa sıralama algoritması HITS ve PageRank'tir. Her iki algoritma da bağlantıları eşit şekilde değerlendirerek sıralama puanlarını dağıtır. Ancak, bu yöntemlerin performansını artırmak için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan Ağırlıklı PageRank algoritması (WPR), standart PageRank algoritmasının bir uzantısıdır ve sayfaların gelen ve giden bağlantılarının önemini dikkate alarak sıralama puanlarını sayfaların popülerliğine göre dağıtır. Simülasyon sonuçları, WPR'nin, belirli bir sorguya daha fazla sayıda ilgili sayfa döndürme açısından geleneksel PageRank algoritmasından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.[10]

Sosyal ağ teorisi, sosyal bilimlerde giderek daha önemli hale gelmekte ve bu teorisinin temelinde merkezilik ölçütü yer almaktadır. Sosyal ağ perspektifinde bireyler, organizasyonlar ve şirketler bir ağdaki düğümler gibi davranır ve merkezilik, bu düğümlerin g, etkileşim düzeyi ve iletişim kolaylığını ölçmek için kullanılır. Derece merkeziliği, ara merkezilik ve yakınlık merkeziliği, bu ltlerin en yaygın kullanılan türleridir. Bu alışma, bu üç merkezilik türünü ilkelerden algoritmalara kadar derinlemesine incelemekte ve gelecekteki kullanımlarına dair olumlu öngörüler sunmaktadır.[11]

Minimum Vertex Cover Problem, grafik teorisinde yer alan ve NP-tam sınıfına giren önemli optimizasyon problemlerindendir. MVCP'yi çözmek için literatürde birçok algoritma ve yöntem geliştirilmiştir. Heuristik ve meta-heuristik yaklaşımlar, genellikle bu problemin çözümünde kullanılmıştır. Örneğin, kimyasal reaksiyon optimizasyonu ve genetik algoritmalar gibi yöntemler, çözüm arayışlarında ne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, quantum yaklaşımlar ve Shapley-Shubik indeksi gibi oyun teorisi temelli yaklaşımlar da MVCP'nin çözümünde kullanılmaktadır. Ağ iletişimi, biyoinformatik ve mühendislik alanlarındaki birçok gerçek dünya problemi, MVCP zerine kurulu modellerle çözülebilmektedir. Bu alışmada, Malatya algoritması önerilerek MVCP için etkin bir çözüm sunulmuştur. Malatya algoritması, düğüm merkezilik değerleri hesaplanarak ve en yüksek değere sahip düğümlerin seçimiyle polinomsal bir yaklaşım geliştirmektedir. Çalışmanın sonuçları, önerilen algoritmanın etkinliğini ve MVCP için etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir.[12]

Merkezilik, grafik teorisinde, düğümlerin baskınlık değerlerini belirleyen sık kullanılan bir metriktir. Literatürdeki mevcut merkezilik algoritmalarıyla karşılaştırıldığında, yeni bir

bakış açısı getiren Malatya Merkezilik Algoritması bu çalışmada önerilmiştir. Bu algorithmada, bir düğümün merkezilik değeri, düğümün derecesinin komşu düğümlerin derecelerine oranlarının hesaplanması ve bu oranların toplanması yoluyla belirlenmiştir. Önerilen algoritma, Zachary'nin karate kulübü, yunus sosyal ağı ve zebra ağı gibi bilinen sosyal ağlar üzerinde test edilerek literatürdeki yerleşik merkezilik algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan testler ve analizler, Malatya Merkezilik Algoritması'nın etkili ve başarılı bir merkezilik algoritması olduğunu göstermektedir.[13]

Ulaşım ağlarındaki merkezilik analizleri, trafik akışını ve kentsel yapı üzerindeki etkilerini belirlemede önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Çin'in hava yolu taşımacılığı ve Stockholm gibi şehirlerde yapılan araştırmalar, degree, closeness ve betweenness gibi merkezilik metriklerinin düğümlerin önemini ve trafik üzerindeki etkilerini ortaya koyar. Bu analizler, kentlerdeki merkezilik değerlerinin sosyo-ekonomik göstergeler ve arazi kullanımı ile güçlü ilişkiler taşıdığını, kentsel planlamada kritik rol oynadığını vurgular. Örneğin, Bologna'da perakende ve hizmet faaliyetlerinin yüksek merkezilik değerlerine sahip alanlarda yoğunlaştığı ve bu durumun kentsel yapıyı şekillendirdiği görülmüştür. Ayrıca, betweenness centrality algoritmasının metro sistemleri ve otobüs durak ağları gibi ulaşım sistemlerinde uygulanması, yolcu dağılımı ve aşırı kalabalık bölgelerin yönetimine yönelik stratejik öneriler sunar.[14]

Minimum vertex-cover problemi, grafik teorisi, sosyal ağlar, güvenlik ve ulaşım gibi birçok alanda kullanılan NP-tam bir optimizasyon problemidir. Bu problem için literatürde, çözüm yöntemleri ve algoritmalar geliştirilmiş olup, genellikle sezgisel veya açgözlü yaklaşımlar öne çıkmaktadır. MVCP'nin optimizasyon niteliğinden dolayı, geliştirilen çözümler belirli kısıtlar altında daha sezgisel ve etkili olabilmekte, çözüm setleri her iterasyonda değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çalışmada sunulan Malatya vertex-cover algoritması, MVCP için Malatya merkezilik değeri algoritmasına dayalı olarak etkili ve güçlü bir çözüm sunmaktadır. İki aşamalı olan bu algorithmada, ilk olarak grafikteki düğümlerin Malatya merkezilik değerleri hesaplanır; bu değerler, bir düğümün derecesinin komşu düğüm derecelerine oranının toplamı olarak tanımlanır. İkinci aşamada, maksimum merkezilik değerine sahip düğüm çözüm setine eklenir ve bu düğüm ile ilişkili kenarlar grafikten kaldırılarak işlem tekrarlanır. Önerilen algoritma, yapay ve gerçek verilerle test edilmiş, Erdos–Renyi modeli ile üretilen büyük ölçekli rastgele grafiklerde de denenmiştir. Sonuçlar, bu

yöntemin kısıtlardan bağımsız olarak polinomsal zamanda ve alanda etkili çözümler ürettiğini ve optimuma yakın çözümler sunduğunu göstermektedir.[15]

Minimum Vertex Cover problemi, bir grafin tüm kenarlarını kapsayan en az sayıda düğümü içeren bir düğüm kümesinin belirlenmesini amaçlayan, çizge teorisi alanındaki önemli bir optimizasyon problemidir ve ağ tasarımı, iletişim ve sosyal ağlar gibi çeşitli alanlarda kritik bir rol oynar. MVC'nin çözümü, ağ verimliliğini artırıp enerji tüketimini azaltarak kaynakların daha etkin kullanılmasına katkı sağlar. Bu çalışmada, İnönü Üniversitesi yerleşkesindeki bina ve tesislerin kablosuz haberleşmesi için en az sayıda erişim noktasının konumlandırılması hedeflenmiş ve bu amaçla literatürde başarılı sonuçlar veren ancak bu özel kampüs için daha önce kullanılmamış olan Malatya Vertex Cover yöntemi uygulanmıştır. Google Earth ile işaretlenen binalar, grafin düğümleri olarak modellenmiş ve R programlama dili kullanılarak analiz edilmiştir. Seçilecek düğümleri belirleyen bu yöntemin kullanımı sayesinde yerleşkede minimum sayıda kablosuz erişim noktasıyla kapsama sağlanarak maliyet avantajı elde edilmiştir.[16]

Betweenness merkeziyeti, ağlardaki kritik düğümleri belirlemede yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür ve bilgi alışverişinde aracı işlevi gören düğümlerin önemini vurgular. Ancak, Betweenness merkeziyeti'nin tüm en kısa yolların eşit katkıya sahip olduğu varsayımı, özellikle mekansal ağlarda karşılaşılan farklı etkileşim yoğunlukları nedeniyle sorgulanmaktadır. Bu çalışmada, mekansal etkileşimleri dikkate alan bir betweenness merkeziyeti modeli önerilmektedir. Bu model, düğümler arası en kısa yolları mekansal etkileşimlerin yoğunluğuna göre ağırlıklandırarak ağ yapısının yanı sıra mekansal etkileşimlerin de analizde dikkate alınmasını sağlar. Shenzhen cadde ağı ve Çin'in şehirler arası ulaşım ağına yapılan uygulamalarda, bu modelin, sadece ağ yapısına odaklanan Betweenness merkeziyeti'ne kıyasla ağ işlevselliği açısından daha anlamlı olduğu ve ağ verimliliğini artırmaya yönelik güçlü bir araç sunduğu gösterilmiştir. Bu bulgular, karmaşık ağların ampirik modellerine mekansal yapılandırmanın dahil edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.[17]

Merkezilik ölçüleri, bir ağdaki düğüm veya kenarların göreceli önemini belirlemek için kullanılan temel yöntemler arasında yer almaktadır. Literatürde, yakınlık merkeziliği ve aracı merkeziliği gibi klasik yaklaşımların yanı sıra, daha karmaşık ölçümler de geliştirilmiştir. Bu ölçümlerin hesaplanması için tam algoritmalar, örnekleme tabanlı yaklaşım algoritmaları ve büyük ölçekli grafikler için MapReduce tabanlı yöntemler önerilmektedir. Ayrıca, dinamik ağlarda değişiklikler meydana geldiğinde merkezilik ölçülerinin güncellenmesine yönelik

teknikler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, büyük veri kümelerinde verimli ve ölçeklenebilir algoritmalar kullanılarak merkezilik hesaplamalarının optimize edilebileceğini göstermektedir.[18]

Topluluk tespiti ile ilgili çalışmalar;

Şehir içi ulaşım ağlarındaki toplulukları ve ilgi noktalarını (POIs) analiz ederek, POI'lerin topluluk tespiti yöntemleriyle (CDMs) nasıl ilişkilendiği incelenmiştir. Şanghay ve Pekin taksi sistemlerini kullanarak, Combo ve Walktrap algoritmaları ile tespit edilen toplulukların POI'lerle en yüksek korelasyonu gösterdiği bulunmuştur. Bu, mekansal toplulukların oluşumunu anlamak için önemli bilgiler sunar.[19]

Nesnelerin İnterneti , ulaşım sistemleri de dahil olmak üzere birçok uygulama alanına sahiptir. Gelecekte ulaşım, yeni yollar inşa etmekten çok, internet üzerinden gerçekleşen akıllı iletişimle şekillenecektir. Araçlar, yollar, trafik ışıkları gibi sistem elemanları sensörlerle donatılarak birbirleriyle kablosuz teknolojilerle iletişim kurarak mobilite, güvenlik ve sürdürülebilirliği artırabilir. Bu ağ, trafik sıkışıklığını azaltmak ve yolcu taşımacılığında talep ve arzı daha verimli eşleştirmek gibi hizmetleri geliştirmek için değerli bilgiler sağlayabilir. Bu çalışmada, ulaşım ağlarının topluluk tespiti üzerine mevcut yöntemler ve algoritmalar ele alınmıştır.[20]

Zamanlı hat hizmetleri, toplu taşıma için uygun bir sistem olup, otobüs, demiryolu, havayolu ve deniz taşımacılığı gibi birçok ulaşım modunda kullanılmaktadır. Daha fazla yolcu çekmek için, hat sağlayıcılarının etkili rotalar ve ağlar düzenlemesi gerekmektedir. Bu çalışma, Toplu Taşıma Ağı oluşturma problemini ele almaktadır. PTN oluşturma yöntemi, her bir otobüs hattını temsil eden bir ajan kullanarak, hat güzergahı ve araç numarası bilgileri sağlar. Bu yöntem, benchmark problemleri için başarılı sonuçlar verse de, çözüm ve hesaplama süresi, başlangıç hattı setinin transit rotalarının kalitesine bağlıdır. Çalışmada, uygun hat rotaları oluşturmak için topluluk tespiti yöntemi uygulanmış ve mevcut yöntem bu yöntemle değiştirilmiştir. Topluluk tespiti yönteminin avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır.[21]

Beş taşıma modunu içeren çok katmanlı yolcu taşıma ağı oluşturulmuştur. Bu ağ, yüksek hızlı demiryolları, sıradan demiryolları, otoyollar, ulusal yollar ve hava yolu taşımacılığını birleştirir. Seyahat ve transfer verimliliği katman içi ve katmanlar arası kenar ağırlıklarıyla tanımlanır. Örtüşen toplulukları tespit etmek için katmanlar arası maliyetler dikkate alınarak yapılan analiz, ağı 53 topluluk ve 344 örtüşen düğüm şehrine böler. Etkili

düğüm şehirleri, ağ bağlantısını maksimize eder, ancak bazı bölgeler zayıf bağlantılara sahiptir. Çalışma, MCPTN'nin zayıflıklarını belirler ve optimizasyon önerileri sunar.[22]

Karmaşık ağlar, makine öğrenimi alanında veri inceleme ve madenciliği için önemli bir araç haline gelmiş ve gerçek dinamik ağları modelleyerek sistemlerin işleyişini ortaya çıkarmada büyük katkı sağlamıştır. Karmaşık ağlarda var olabilecek önemli yapılardan biri topluluklardır ve topluluk tespit problemi birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir. İgraph kütüphanesi, bu alanda kullanılabilecek geniş bir topluluk tespit algoritması yelpazesini içermekte ve araştırmacıların bu algoritmaları veri madenciliği görevlerinde kolayca uygulamalarına olanak tanımaktadır. Ancak her algoritma farklı bir yaklaşım kullanarak farklı performanslar sergiler. Yapılan bir çalışmada, igrph kütüphanesinde yer alan topluluk tespit algoritmaları farklı senaryolar altında performanslarına göre incelenmiş ve sıralanmıştır. Sonuçlar, walktrap ve multi-level algoritmalarının en yüksek puanları alırken, leading eigenvector ve spinglass algoritmalarının daha düşük performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, araştırmacıların kendi deneylerinde igrph kütüphanesindeki algoritmaları seçme veya eleme süreçlerine rehberlik eden önemli bir katkı sağlamaktadır.[23]

Ağların bölütlenmesi veya kümelenmesi, çeşitli amaçlara hizmet edebilir ve bu amaçlardan biri de optimum çoklu denetleyici yerleşimidir. Bu hedef doğrultusunda, K-means tabanlı algoritmalar kullanılarak tüm düğümlerden en yakın denetleyici düğüme olan en kısa yolların mesafelerinin toplamı minimize edilir. Farklı sayıda tohum için başlangıç merkezlerinin seçilmesinde, köklü yöntemlerin yanı sıra k-means++ algoritması ve bu algoritmalarla birlikte centroid tespiti uygulanan walktrap ve spinglass topluluk tespiti gibi yeni yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerle elde edilen en kısa yolların toplam mesafeleri, centroid güncellemelerinin sayısı ve bölütlerdeki düğüm sayılarının standart sapmaları karşılaştırılır. Topluluk tespiti yöntemlerine dayalı tohumlar, tüm ölçülen parametrelerde en iyi sonuçları verir.[24]

Araç içi ağ sistemlerinin yanı sıra son teknoloji sensörler ve iletişim teknolojilerinin ortaya çıkması, araçlar ve sürücüler hakkında büyük hacimde ve neredeyse gerçek zamanlı verilerin toplanmasını kolaylaştırarak gelecekteki olanakları açmıştır. Bu verilerin işlenmesi ve analizi, sürüş davranış analizi için olağanüstü içgörüler ve çözümler sunma fırsatları yaratmaktadır. Sürüş davranışını karakterize etmek, trafik güvenliği, otomatik araçların geliştirilmesi, enerji ve yakıt yönetimi, risk değerlendirmesi ve sürücü tanımlama ve profillemeye gibi çeşitli araştırma alanlarında önemli bir rol oynamaktadır. DBA tabanlı sürücü dikkatsizliği

veya sarhoş sürücü tespiti konusundaki ilerlemeler, ölümcül trafik kazalarının azaltılmasına yardımcı olabilirken, sürücülerin sürüş stilinin (örneğin, çevre dostu veya agresif) anlaşılması, yakıt yönetimine ve sürücülerin risk değerlendirmesine katkıda bulunabilir. Bu durum, DBA zorluklarını ele alma konusunda artan bir ilgiye yol açmıştır. Bu çalışma, DBA için en son metodolojileri sunmayı ve DBA'daki mevcut ve gelecekteki ana eğilimler hakkında net bir yol haritası sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, sürüş davranışı ile ilgili mevcut araştırmaları, analiz için kullanılan veri türlerine, analizin nihai hedeflerine ve sürüş verilerinin modellenmesinde kullanılan tekniklere göre kategorize etmeyi öneriyoruz. Ayrıca, DBA için farklı veri kaynaklarının ve mevcut veri setlerinin bir genel görünümünü sağlıyoruz. Bunun yanı sıra, DBA uygulamalarını ve bu alandaki temel araştırma zorluklarını ve olası gelecekteki yönelimleri tartışıyoruz.[25]

Modülerlik temelli topluluk tespit yöntemleri, ilişkisel ağlar giderek daha gürültülü hale geldikçe performansında düşüş göstermektedir. Bu yöntemler, çözümler olarak çok sayıda çeşitli topluluk yapıları ürettiğinden, bu durum kabul edilebilir çözümler üzerinde kısıtlamalar getiren uygulamalar için sorun teşkil etmekte veya kullanıcının belirli topluluklara odaklandığı durumlarda zorluk çıkarmaktadır. Bu iki sorunu ele almak için, mevcut topluluk tespit yöntemlerinin bireysel etiketler ve ikili kısıtlamalar şeklindeki arka plan bilgisini entegre etmesine olanak tanıyan yarı denetimli bir spin-glass modeli geliştirdik. Mevcut yöntemlerin aksine, önerilen yaklaşımımız, ilişkisel ağdaki gürültüye karşı dayanıklı bir performans sergilemekte ve keşif sürecini belirli topluluk yapıları yönünde yönlendirme yeteneğine sahip olmaktadır. Algoritmamızı, çeşitli referans ağları ve altı yıl boyunca haber makalelerinden çıkarılan ülkeler arasındaki işbirlikçi olayları temsil eden yeni bir siyasi duygu ağı üzerinde değerlendiriyoruz.[26]

Spektral kümeleme, yönsüz ağlarda düğümlerin kümelenmesi için kullanılan etkili bir yöntem olup, ağ psikometrisinde sınırlı bir kullanıma sahiptir. Bu yöntem, yaygın olarak kullanılan walktrap algoritmasıyla yakından ilişkilidir. Simülasyon deneyleri, spektral kümeleme ve walktrap algoritmasının ağlardaki topluluk yapısını ortaya çıkarma yeteneğini değerlendirmiştir. Bulgular, walktrap algoritmasının performansının hiyerarşik kümeleme yerine K-ortalamlar kümeleme kullanılarak artırılabilirliğini, K-ortalamlar ve K-medyan kümelemenin Laplace matrislerinin özvektörlerine dayalı spektral kümelemede benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ayrıca, normalize edilmemiş Laplace matrisi ile yapılan spektral kümelemenin, diğer yöntemlere kıyasla daha düşük bir kümeleme performansı sergilediği

belirtilmiştir. Doğru küme sayısı sağlandığında, normalize edilmiş Laplace matrisi ile yapılan spektral kümelemenin walktrap algoritmasından daha iyi sonuçlar verdiği; doğru küme sayısı sağlanmadığında ise, Qw modülerlik indeksini kullanan walktrap algoritmasının, eigengap yaklaşımını kullanan spektral kümelemeden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Genel olarak, normalize edilmiş Laplace matrisi ile spektral kümeleme, yönsüz ağların düğümlerini bölmede etkili bir yöntemdir ve çoğu durumda daha iyi sonuçlar vermektedir.[27]

Topluluk algılama, karmaşık ağ analizinde önemli bir alan haline gelmiştir. Algoritmalar genellikle birkaç gerçek veya yapay ağ üzerinde test edilmektedir. Gerçek ağlar üzerinde test yapmak gereklidir, ancak bazı sınırlamalara sahiptir: Kullanılan gerçek ağlar genellikle küçüktür, altta yatan topluluklar nesnel bir şekilde tanımlanmamıştır ve ağların özelliklerini kontrol etmek mümkün değildir. Yapay ağlar oluşturmak, bu sınırlamaların üstesinden gelmeyi sağlar. Ancak, yakın zamana kadar çalışmaların çoğu, klasik Erdős-Rényi rastgele modelinin varyasyonlarını kullanmış ve bu nedenle gerçekçi olmayan ağlar üretme gibi benzer kusurlar taşımıştır. Bu çalışmada, kontrollü üstel derece ve topluluk dağılımları üretebilen Lancichinetti ve arkadaşlarının modeli kullanılarak bazı topluluk algılama algoritmaları test edilmiştir. Üretilen ağların özellikleri analiz edilmiş ve normalleştirilmiş karşılıklı bilgi ölçütü ile sonuçların kalitesi değerlendirilerek algoritmalar karşılaştırılmıştır.[28]

Topluluk algılama algoritmaları, düğümleri alt gruplar veya topluluklar halinde organize etmeyi amaçlarken, büyük veriye odaklanan bu yöntemlerin daha küçük grafiklerde (1000 düğüm ve altı) ve farklı matris türlerinde güvenilirliği belirsizdir. Monte Carlo simülasyonlarıyla yapılan bu çalışmada, seyrek sayım matrislerinde (örneğin, difüzyon tensor görüntüleme) Label Propagation ve Walktrap algoritmalarının en güvenilir yöntemler olduğu belirlenmiştir. İşlevsel bağlantıyı temsil eden yoğun ve ağırlıklı korelasyon matrislerinde ise Walktrap, topluluk yapısını tespit etmede diğer algoritmalarından üstün performans göstermiştir.[29]

Cohen'in  $\kappa$  benzerlik ölçütü, kategorik veriler için geliştirilmiş olsa da, veri madenciliği alanında kümeleme analizi ve ağ bağlantı tahmini gibi problemlerde kullanılmıştır. Bu çalışma, Cohen'in  $\kappa$  değerini düğümler arasındaki benzerlik ölçüsü olarak kullanan ve bu değerleri kümelendirerek toplulukları tespit eden yeni bir algoritma sunmaktadır. Algoritma, çeşitli simüle edilmiş ve gerçek ağlar üzerinde test edilmiş ve sekiz farklı topluluk algılama algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bu yeni algoritmanın hem simüle edilmiş hem de

gerçek ağlarda veri noktalarını sınıflandırmada sürekli olarak en iyi performans gösterenler arasında yer aldığını göstermiştir. Ayrıca, bu çalışma topluluk algılama algoritmalarını karşılaştıran en geniş kapsamlı simülasyonlardan biri olma özelliği taşımaktadır.[30]

Walktrap algoritması, ağlarda topluluk tespiti için rastgele yürüyüşlere dayalı bir yöntemdir. Algoritma, düğümler arasındaki benzerliği ölçerek toplulukları hiyerarşik bir şekilde belirler. Hesaplama açısından verimli olup, çoğu gerçek dünya ağı için  $O(n^2 \log n)$  zaman karmaşıklığına sahiptir. Yapılan karşılaştırmalar, Walktrap'ın önceki yöntemlere kıyasla daha kaliteli topluluk yapıları tespit ettiğini göstermektedir. Bu yöntem, sosyal ağ analizi, biyolojik ağlar ve diğer kompleks sistemlerde etkili bir şekilde kullanılmaktadır.[31]

Bağlantı tahmini ve maksimum akış ile ilgili çalışmalar;

Transportasyon ağlarının planlaması ve tasarımı için etkili ve güvenilir bir evrim modeli sağlamak büyük önem taşımaktadır. Ağ evrimi mekanizması olarak bağlantı tahmini, ulaşım ağlarının genişlemesinde kritik bir rol oynamaktadır. Önceki algoritmalar, genellikle iki düğüm arasındaki bağlantı olasılığını hesaplarken yalnızca düğüm derecesi veya ortak komşular gibi faktörleri dikkate almış, küresel ağ verimliliğini artırabilecek yapısal özellikler nadiren değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, ulaşım ağlarının özellikleri ve gereksinimleri göz önüne alınarak bağlantı tahmini açısından yeni bir evrim mekanizması önerilmektedir. Önerilen model, düğüm derecesi, mesafe, yol, beklenen ağ yapısı, ilişki, nüfus ve gayri safi yurtiçi hasıla gibi çeşitli faktörleri kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Model, Çin'in yüksek hızlı demiryolu ağı, otoyol ağı ve iç hat sivil havacılık ağı üzerinde sayısal deneylerle test edilmiştir. Farklı modellerde alıcı işletim karakteristik eğrisi ve ağ verimliliği karşılaştırılarak, önerilen modelin ürettiği ağların dereceleri ve merkezleri incelenmiştir. Sonuçlar, önerilen modelin diğer temel bağlantı tahmin yöntemlerine kıyasla daha iyi tahmin performansı sergilediğini ve ağ yapısını etkili bir şekilde optimize edebildiğini göstermektedir.[32]

Bağlantı tahmini, çeşitli uygulamalara sahip önemli bir araştırma alanıdır. Grafikler, bir ağdaki farklı varlıklar arasındaki etkileşimleri temsil etmek için doğal bir soyutlama sağlar. Sosyal ağlar, ulaşım ağları, hastalık ağları ve e-posta/telefon çağrıları ağları gibi çeşitli grafik türleri bulunmaktadır. Bağlantı tahmini, bu ağlar üzerinde ilginç sorunları analiz etmek ve çözmek için özel olarak uygulanabilir; örneğin, bir hastalığın yayılma olasılığını tahmin etmek, ağlarda gizliliği kontrol etmek, spam e-postaları tespit etmek veya mevcut trafik desenlerine dayanarak alternatif güzergahlar önermek gibi. Bu uygulamalar, bağlantı tahmininin pratikteki önemini ve çok çeşitli alanlardaki potansiyelini göstermektedir.[33]

Ağlarda bağlantı tahmini, araştırmacılar arasında artan bir endişe haline gelmiştir. Bu çalışmada, şehirlerarası ulaşım ağlarında daha iyi tahmin sonuçları elde etmek amacıyla çeşitli bağlantı tahmin yöntemleri karşılaştırılmaktadır. Pratik bir yaklaşım olarak, farklı algoritmaların sonuçlarını hem tahmin doğruluğu hem de mevcut bağlantı sayısını dikkate alarak sıralamak için yeni bir indeks önerilmektedir. Bu indeks aracılığıyla, bağlantıların varlığını belirlemek için en iyi eşik değeri, simüle tavlama yöntemiyle belirlenmektedir. Deneyler, önerilen indeksin şehirlerarası ulaşım ağlarında iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.[34]

Maksimum akış problemi, optimizasyon teorisi alanında oldukça önemli bir problemdir ve amacı, bir akış ağında kaynak ile hedef arasında mümkün olan en yüksek akış oranını elde etmek için uygun bir akış bulmaktır. Literatür, ağın taşıyabileceği maksimum akışı yönetmek için geçmişte farklı tekniklerin geliştirildiğini göstermektedir. Bu tür problemleri çözmek için kullanılan iki ana algoritma Ford-Fulkerson algoritması ve Dinic Algoritmasıdır. Ayrıca, maksimum akışların bulunmasında en kabul gören yöntemler arasında Max-Flow Min-Cut Teoremi, Ölçekleme Algoritması ve Push-relabel maksimum akış algoritması yer almaktadır. Bu çalışmada, "max-flow" temelinde bir ağın kaynak ve hedef düğümleri arasındaki maksimum akışı bulmak için alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca, yeni maksimum akış algoritmasına dayanan taşıma problemini çözmek için yeni bir algoritmik yaklaşım önerilmektedir. Bu yöntemin optimaliteye ulaşmak için minimum sayıda iterasyon gerektirdiği de dikkate değerdir. Bu çalışmanın algoritmik yaklaşımı, literatürdeki bilinen meta-heuristik algoritmalara göre daha az karmaşıktır.[35]

Ulaşım, yaşam, hükümet ve sosyal sistemlerin önemli bir bileşenidir ve sosyo-demografik koşullar performansı etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı, trafik sıkışıklığını aşmanın bir yolu olarak yolların maksimum kapasitesini ölçen bir olayı incelemektir. Araştırma, Ford-Fulkerson algoritması kullanılarak oluşturulan graf üzerinden maksimum akışın aranmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, kaynak noktasından ana noktaya giden mümkün yolların belirlenmesi için birçok aşamada analiz edilerek gerçekleştirilmiştir. Başlangıç aşamasında grafın her iki tarafından sıfır akışla başlanmış ve maksimum akış, 16 iterasyon gerçekleştirdikten sonra elde edilmiştir. Kalan akış, toplam akıştan her iterasyondaki akışların çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Daha fazla artırıcı yol bulunmadığında iterasyon durmaktadır. Akışın kapasiteye eşit olduğu durumlarda kesimler oluşmaktadır. Araştırma verileri, Medan'daki toplu taşıma ve güzergahları şeklindedir ve Medan Şehri Ulaşım Dairesi

arşivlerinden doğrudan elde edilmiştir. Toplu taşıma ağı üzerindeki maksimum akışın araştırılması, Medan şehrindeki toplu taşıma güzergahlarının gözlemlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Medan'daki toplu taşıma güzergahı, Jamin Ginting Caddesi'nden başlayarak, Williem Iskandar üzerinden geçmektedir. Araştırma bulgularına göre, ulaşım ağı aracılığıyla maksimum kapasite aşılabilmektedir. Beş tür toplu taşıma aracı bulunmaktadır. Şehir Salonu - Putri Hijau Caddesi güzergahı ile Perintis Kemerdekaan Caddesi - HM. Yamin Caddesi güzergahlarının kapasiteyi aştığı görülmüştür; bu güzergahlarda sırasıyla 15 ve 9 toplu taşıma aracı geçmektedir. Ancak diğer yolların akış miktarı düşük olduğundan, bazı toplu taşıma araçlarının aşırı yüklerini boş yollara yönlendirilmesi önerilmektedir.[36]

Akıllı trafik kontrolünde önemli bir rol oynayan araçlar arası ad-hoc ağlar, uyarı mesajları, yönlendirme ve ağ keşif mesajları gibi bilgilerin dinamik ortamlarda hızlıca paylaşılmasını sağlar. Ancak, önceki çalışmalarda önerilen yönlendirme ve keşif algoritmalarının gerçek trafik koşullarında yeterli performansı gösteremediği ve yayın fırtınası, öngörülemeyen ağ dinamikleri, sabit rota ömrü sorunu, doğrusal olmayan trafik yapısı, yüksek yönlendirme yükü ve düşük paket teslim oranı gibi çeşitli sorunlarla karşılaşıldığı tespit edilmiştir. Araçlar arası kümeleme mimarisi, kaynak kullanımını iyileştirip ağ ölçeklenebilirliğini ve veri akışını artırmasına rağmen, gerçek trafik koşullarında kararlı küme oluşumlarını sağlamak önemli bir zorluktur. Bu bağlamda, önerilen kosinüs benzerliği tabanlı seçmeli yayın yönlendirme protokolü, kosinüs benzerliği indeksi kullanarak doğrusal olmayan küme oluşum yeteneğini geliştirmektedir. Belirgin kümeler ve koordinatör araçlar, hedefe ulaşmak için en uygun yolu belirleme sürecinde birbirlerine destek sağlamaktadır. Ayrıca, ağda yönlendirme mesajlarının iletimi için olasılıklı bir yönlendirme yaklaşımı kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin paket teslim oranını artırdığını, ortalama gecikmeyi azalttığını, iletişim yükünü düşürdüğünü, veri akışını iyileştirdiğini ve komşu keşif mesaj yükünü azalttığını göstermektedir.[37]

Doğal sistemler, farklı türlerde ilişkilerle birbirine bağlı temel birimlerden oluşmakta ve genellikle ağlarla tanımlanmaktadır. Bu ağlarda düğümler varlıkları, bağlantılar ise etkileşimleri temsil eder. Çoğu zaman birden fazla türde etkileşim gözlemlendiğinden, bu tür sistemler farklı etkileşim türlerinin ağına farklı katmanlarını oluşturduğu çok katmanlı ağlar olarak tanımlanır. Artan ağ boyutları, gereksiz veya ilgisiz bağlantıların elenmesini ve ağına temel özelliklerini koruyarak özetlenmesini gerektiren yeni hesaplama zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada, çok katmanlı ağların iç yapısını ve katmanlar arası bağlantıları

dikkate alarak yapısal özelliklerini koruyan bir özetleme tekniği sunulmuştur. Önerilen yöntem, farklı alanlardan gerçek dünya sistemleri üzerinde doğrulanmış ve mevcut yöntemlerle karşılaştırıldığında daha kompakt özetler oluşturabildiği, ağı yapısal değerlendirme ölçütlerini minimum değişikliklerle koruduğu gösterilmiştir.[38]

Akıllı Ulaşım Sistemleri araştırma alanında seyahat süresi tahmini büyük bir öneme sahiptir ve yolcuların seyahatle ilgili kararlarını almasına yardımcı olur. Kosinüs Benzerliği, geçmiş trafik verileri üzerinde uygulanabilen bir gruplama tekniği olarak, doğru seyahat süresi tahminleri yapma potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada, Kosinüs Benzerliği temelli bir gruplama yaklaşımı önerilmiş ve geçmiş trafik verileri seyahat süresi ve seyahat süresi sıklığına göre iki anlamlı gruba ayrılmıştır. Ayrıca, belirli bir yol segmenti ve zaman grubu için hız faktörü de verilere yönelik düzenleme yapılırken dikkate alınmıştır. Aynı veri seti kullanılarak, önerilen yöntemin sonuçları, diğer yöntemler (örneğin, K-Means, Ardışık Hareketli Ortalama, Zincir Ortalama, Naïve Bayes Sınıflandırması ve Yapay Sinir Ağları) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, her yöntemin seyahat süresini tahmin edebildiğini ancak Kosinüs Benzerliği yönteminin çok daha az hesaplama süresi ve bellek gerektirdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, yöntem diğerlerine göre daha verimlidir.[39]

Web sayfaları genellikle, ana içerikle ilgili olmayan reklamlar, gezinme çubukları, telif hakkı ve gizlilik bildirimleri gibi çok sayıda bilgi içermektedir. Bu çalışmada, web belgelerinden ana içeriği ayıklamak için bir algoritma önerilmiştir. Algoritma, İçerik Yapı Ağacı olarak adlandırılan bir model temelinde çalışmaktadır. İlk olarak, önerilen sistem HTML ayrıştırıcı kullanarak belge nesne modeli ağacı oluşturur ve ardından bu ağaçtan İçerik Yapı Ağacı türetilir. Bu yapı, ana içerik bloklarını diğer bloklardan kolaylıkla ayırabilmektedir. Daha sonra, Kosinüs Benzerliği ölçütü kullanılarak, ağacın hangi bölümlerinin daha az önemli, hangilerinin daha önemli olduğu değerlendirilir. Sistem, belgelerin sıralamasını benzerlik değerlerine göre belirleyebilir ve sorguya daha uygun olan üst sıralardaki belgeleri ayıklayabilir.[40]

Navigasyon ve takip teknolojilerindeki gelişmeler, yol ağlarında hareket verilerinin artmasına yol açmış, ancak mevcut güzergâh benzerlik ölçüm yöntemleri genellikle yavaş çalışmakta, zamansal özellikleri ihmal etmekte ve az veriyle sınırlı kalmaktadır. Bu çalışma, güzergâhları coğrafi koordinatlar, seyahat süreleri ve zamansal sıralamaları dikkate alarak ağ tabanlı bir alana haritalayan yeni bir yöntem önermektedir. Mekânsal benzerlik ölçümü için Jaccard katsayısı kullanılırken, zamansal benzerlik ortak segmentler, başlangıç zamanı farkı ve

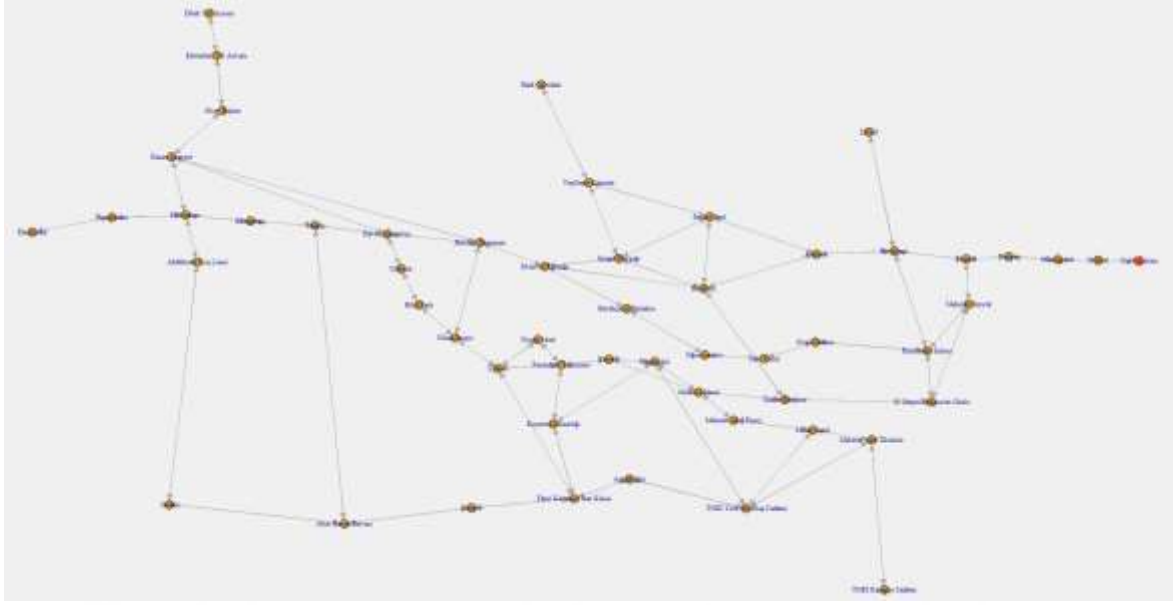
güzergâh süresine dayalı olarak hesaplanmıştır. Gerçek taksi güzergâh verileriyle yapılan testlerde, önerilen yöntem literatürdeki mevcut yöntemlere göre dört kat daha hızlı çalışmış ve büyük hacimli veriler üzerinde spatio-temporal analizlere olanak sağlamıştır.[41]

Bipartite ağlarda maksimum akış problemi, kaynak ve hedef düğümleri arasındaki maksimum akış kapasitesini belirler. Çeşitli çözüm yöntemleri arasında eşleştirme yöntemleri öne çıkar. Bu çalışmada, bipartite ağlarda maksimum akış değerlerini hesaplamak için Malatya Matching Algoritması kullanılarak özgün bir yaklaşım geliştirilmiştir. MMA, eşleştirme yöntemleriyle optimum sonuçları elde etmeyi sağlar. Erdos Renyi modelini kullanarak üretilen ağırlıksız rastgele bipartite ağlarda yapılan uygulamalarla, önerilen algoritmanın başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çözüm sürecinde R programlama dili ve igraph kütüphanesi tercih edilmiştir.[42]

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada, Malatya ili yerleşkesindeki ulaşım ağı, 54 kavşak noktasını içeren ve bu kavşakları birbirine bağlayan 147 yol bağlantısından oluşan bir çizge modeli olarak tasarlanmıştır(Şekil 3.1). Görselleştirme için Google Earth programı kullanılırken(Şekil 3.2), ulaşım ağı modellemesi arka planda R programlama dilinde igraph kütüphanesi yardımıyla oluşturulmuştur. Bu çizge modeli, şehrin ulaşım altyapısının detaylı bir analizi için temel bir yapı sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan veriler ilk defa bu çalışmada sunulmuştur. Araç sayım verileri üreten bluetooth cihazlarına ait görseller Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Veriler, her kavşakta araç geçişlerinin sayısını, zaman dilimlerini ve diğer trafik parametrelerini içermektedir.



**Şekil 3.1** Yapılan çalışmadaki kavşakların çizge hali.



**Şekil 3.2** Yapılan çalışmadaki kavşakların Google Earth yerleşimi.

Trafik akışını optimize etmek için kullanılan yöntemler arasında, grafik teorisi tabanlı yaklaşımlar önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda, merkezlilik, topluluk tespitleri, maksimum akış analizi ve bağlantı tahmin yöntemleri oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Maksimum akış analizi, ulaşım ağı üzerinde araç akışını en üst seviyeye çıkarmayı hedeflerken, bağlantı tahmin yöntemleri, gelecekteki trafik yönelimlerini tahmin etmek amacıyla geliştirilmiştir. Merkezlilik algoritmaları önemli kavşakları belirlerken, topluluk tespit yöntemleriyle kırmızı ışık kolidorları oluşturulmaktadır.



**Şekil 3.3** Sayım verisi toplamak için sahada kurulan Bluetooth cihazları.

Model üzerinde ağ analizini güçlendirmek amacıyla çeşitli merkezlilik ölçümleri uygulanmıştır. Bunlar PageRank, Closeness, Betweenness, Malatya merkezlilik algoritması ve Malatya Vertex Cover gibi algoritmalar. PageRank, kavşak noktalarının ağırlıklı önem derecelerini belirlemek için kullanılmaktadır[7]. Closeness merkezlik ölçümü, her bir kavşak noktasının diğer tüm düğümlere olan ortalama en kısa mesafesini hesaplayarak ağ üzerindeki stratejik konumunu ortaya koymaktadır[9]. Betweenness merkezlik ölçümü ise belirli kavşakların ne ölçüde diğer kavşaklar arasında köprü görevi gördüğünü analiz etmektedir[6].

Malatya merkezlilik algoritması, Malatya'daki trafik yoğunluğu ve düğümler arası bağlantılar gibi yerel özellikler göz önünde bulundurularak geliştirilmiş özel bir merkezlilik ölçütüdür[12]. Bu algoritma, şehrin kavşakları arasındaki trafik akışını optimize etmek ve her bir kavşağın ağ üzerindeki önem derecesini daha isabetli bir şekilde belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

Buna ek olarak, Malatya Vertex Cover algoritması, trafik ağındaki kritik noktaları tespit etmek için uygulanmıştır. Bu yöntem, minimum sayıda kavşak seçerek ağı tüm trafik akışını kapsayacak şekilde optimize edilmiş bir çözüm sunmaktadır. Böylece, en az kaynakla en yüksek kontrolü sağlamayı hedeflerken, trafik yönetiminde karar verme süreçlerini desteklemektedir[15].

Bu merkezlik analizlerinin yanında, ulaşım ağındaki topluluk yapısını belirlemek ve bu toplulukların yapısını anlamak amacıyla yeni ve daha kapsamlı yöntemler de değerlendirilerek kullanılmıştır. Bunlar yeşil dalga koridorlarını oluşturabilmek için topluluk tespit yöntemleri olan, Walktrap, Optimal Modularity ve Spinglass algoritmalarıdır. Walktrap algoritması, yakın komşuluk temelinde toplulukları tespit eden ve çoklu iterasyonlarla topluluk yapısını keşfeden

bir yöntem olarak kullanılmıştır[27]. Optimal Modularity algoritması ise çizgeyi, en yüksek modülerlik değerini elde edecek şekilde topluluklara ayırmakta ve ağın modüler yapısını en iyi biçimde tanımlamaktadır[43]. Bunların yanı sıra, yeni yöntemlerden olan Spinglass algoritması da uygulanmıştır; bu yöntem, spin-glass modeline dayalı bir yaklaşım sergileyerek, topluluk tespiti sırasında küresel optimuma ulaşmayı hedefler ve özellikle büyük ve karmaşık ağlarda etkili sonuçlar verir[24].

Topluluk tespiti algoritmalarının sonuçları, şehir içi trafik akışına dair önemli içgörüler sunmuş ve belirli kavşakların, topluluk içi ve topluluklar arası trafiğin düzenlenmesinde kritik öneme sahip olduğunu göstermiştir. Bu yöntemler, trafik planlaması ve kavşak bazlı trafik düzenlemesi gibi uygulamalarda karar vericilere güçlü bir altyapı sağlayabilir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında elde edilen çizge modeli ve kullanılan algoritmalar, şehrin gelecekteki ulaşım ağlarının genişletilmesi veya iyileştirilmesi için veri odaklı stratejik planlama önerilerinde bulunma potansiyeli taşımaktadır.

### **3.1 Kullanılan Veriseti**

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Malatya ili yerleşkesindeki ulaşım ağına ait gerçek zamanlı araç geçiş verilerini içermektedir. Veriler, kavşak noktalarındaki Bluetooth cihazları aracılığıyla toplanmakta ve araç hareketlerini kaydederek trafik yoğunluğu, hız, bekleme süreleri ve benzeri metriklerin analizine olanak tanımaktadır. Toplanan bu veriler, Microsoft SQL Server (MsSQL) veritabanına kaydedilmekte ve bu veritabanında saklanmaktadır. Verilerin analizi için R programlama dili kullanılarak R Studio ortamında çalışılmıştır. R programlama dili, verilerin işlenmesi, modellenmesi ve analizinde güçlü paketler ve araçlar sunarak kapsamlı veri işleme ve görselleştirme süreçlerine olanak sağlamaktadır.

Bluetooth cihazlarından elde edilen veriler, her bir aracın geçiş yaptığı kavşak noktalarını, bu kavşaklar arasındaki geçiş sürelerini ve trafiğin yoğunluğunu belirlemekte kullanılmıştır. Veriler, zaman damgaları ile etiketlenmiş olup, bu sayede farklı zaman dilimlerindeki trafik akışlarının dinamikleri incelenebilmiştir. Bu veri seti, ulaşım ağı üzerindeki trafik akışını anlamak, modellemek ve trafik yönetimi için stratejik kararlar almak amacıyla analiz edilmiştir.

Veri setinin hazırlanması ve analiz süreci, hem verilerin doğruluğunu sağlamak hem de kavşaklar arası ilişkileri ortaya koyan grafiksel modellerin oluşturulmasını sağlamak için çeşitli veri temizleme ve ön işleme adımlarını içermiştir. Bu adımlar, hatalı veya eksik verilerin

ıkarılması, veri formatının uyumlu hale getirilmesi ve zaman serisi analizine uygun hale getirilmesi gibi işlemleri kapsamaktadır. Bu işlemlerde kullanılan veriler, yaklaşık olarak 1,5 seneye yakın düzenlemeler ile düzenli halde alınmaya başlanmıştır.

### 3.2 Merkezlilik Algoritmaları

Merkezlilik algoritmaları, bir ağ içindeki düğümlerin (kavşak noktalarının) ne kadar önemli veya merkezi olduğunu belirlemek için kullanılır. PageRank, bir düğümün aldığı bağlantılar üzerinden önemini ler. Closeness, bir düğümün diğer tüm düğümlere olan ortalama mesafesini hesaplar. Betweenness ise bir düğümün, diğer düğümler arasındaki en kısa yollar üzerindeki rolünü analiz eder. Bu algoritmalar, trafik yönetimi, sosyal ağ analizi ve iletişim ağlarının optimizasyonu gibi birçok alanda kritik noktaları belirlemek için kullanılır.

#### 3.2.1 PageRank algoritması

PageRank, özellikle web sayfalarının önemini belirlemek için Google tarafından geliştirilen ve kullanılan daha sonra birçok ağ analizi alanında geniş ölçekte kullanılan bir merkezilik ölçütüdür. PageRank, bir düğümün (rneğin, bir web sayfasının) nemini, ona yönlendiren bağlantıların sayısı ve bu bağlantıların kaynaklarının önemine dayalı olarak hesaplar. PageRank algoritması, bir düğümün ağdaki diğer düğümler üzerindeki dolaylı etkisini dikkate alarak, ağın genel yapısını analiz eder[10].

PageRank'ın çalışma prensibi, "rastgele gezinme" (random surfing) modeline dayanır. Bir kullanıcı, bağlantılar üzerinden sayfalar arasında dolaşırken, sayfalar arası gezinmenin her adımıda belirli bir olasılıkta rastgele bir sayfaya geçmesi varsayılır. Bu olasılığa sönümleme faktörü (d) denir ve genellikle 0.85 olarak belirlenir. Sönümleme faktörü, rastgele gezinme sırasında belirli bir düğümden diğer düğümlere geçiş yapma eğilimini temsil eder; d oranında bağlantı üzerinden gezinmeye devam ederken, (1 - d) oranında doğrudan rastgele bir düğüme sıçrama ihtimali vardır. Bu sayede ağın tüm düğümleri dikkate alınır ve tüm düğümlerin PageRank değeri sıfırdan farklı olur[10].

Algoritmanın temel denklemine göre, herhangi bir düğüm A'nın PageRank değeri, ağdaki diğer düğümlerden aldığı katkılar ile belirlenir:

$$PR(A) = \frac{1-d}{N} + dx \sum_{i=1}^N \frac{PR(B_i)}{L(B_i)} \quad (3.1)$$

PageRank algoritmasında,  $PR(A)$  bir düğüm olan  $A$ 'nın önem derecesini ifade eden PageRank değeridir. Algoritma, bir düğümün önemini, kendisine gelen bağlantıların değerlerine ve sayısına bağlı olarak hesaplar.  $d$  ise sönümleme faktörü olarak adlandırılan ve genellikle 0.85 olarak kabul edilen bir katsayıdır. Bu faktör, rastgele bir kullanıcının belirli bir düğümden diğerine geçerken belirli bir olasılıkla rastgele gezinmeyi bırakacağını ifade eder. Ağın genel yapısını belirleyen  $N$ , sisteme bağlı toplam düğüm sayısını temsil eder.  $PR(B)$ ,  $B$  düğümünün PageRank değerini gösterirken,  $L(B_i)$  ifadesi,  $B$  düğümünden çıkan bağlantıların sayısını ifade eder. Bir düğümün PageRank değeri, kendisine yönlendiren diğer düğümlerin PageRank değerleri ve bu düğümlerden çıkan bağlantı sayıları dikkate alınarak hesaplanır.

PageRank, iteratif bir süreçle çalışır ve her iterasyonda düğümlerin PageRank değerleri güncellenir. Yüksek PageRank değerine sahip düğümler, ağda daha merkezi bir konuma sahiptir ve diğer düğümler üzerinde daha fazla etkiye sahiptir.[44]

PageRank algoritması hesaplama sürecinde, başlangıçta her düğüme eşit bir PageRank değeri atanır. Örneğin,  $N$  düğümlü bir ağda her düğüm için başlangıç değeri  $1/N$  olarak alınabilir. Daha sonra PageRank formülüne göre her düğümün yeni PageRank değeri hesaplanır. Bu süreç, ağdaki düğüm sayısına ve bağlantı yoğunluğuna göre birkaç veya birçok iterasyon boyunca devam eder. PageRank değerleri belirli bir hata payı altında stabil hale geldiğinde, algoritma durur. Bu noktada her düğümün PageRank değeri, ağdaki merkeziyet derecesini temsil eder.

PageRank değeri yüksek olan düğümler, ağda daha merkezi bir konuma sahiptir ve bu düğümler, bilgi veya etki yayılımında daha büyük rol oynarlar. Örneğin, sosyal ağlarda yüksek PageRank değerine sahip kişiler, bağlantı yoğunluğu yüksek ve diğer önemli kişilerle ilişkili olan bireylerdir. Ulaşım ağlarında, yüksek PageRank değerine sahip kavşak noktaları, trafik yoğunluğunun fazla olduğu ve diğer kavşaklar üzerinden yüksek oranda geçiş yapılan noktalardır[44].

PageRank algoritması, grafik tabanlı veri yapılarında merkeziyet ölçümünün güçlü bir yöntemi olarak kabul edilmekte ve büyük ölçekli ağlarda düğümlerin önemini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 3.2.2 Closeness merkeziet algoritması

Closeness merkezilik algoritmaları, ağ analizi ve çizge teorisi alanlarında yaygın olarak kullanılır. Closeness merkezilik, bir düğümün diğer tüm düğümlere olan ortalama en kısa yol uzunluğuna dayalı olarak hesaplanır. Bu, düğümün ağdaki diğer düğümlerle olan yakınlığını ölçer. Bu sayede düğümün ağın geneline ne kadar hızlı erişebileceğini ortaya koyar. Closeness merkezilik, sosyal ağ analizinden ulaşım ağlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılan, özellikle bilgi yayılımı, etki dağılımı ve erişilebilirlik analizlerinde önemli bir rol oynayan bir ölçüm yöntemidir[9].

Bir düğümün closeness merkezilik değeri, o düğümden ağdaki diğer tüm düğümlere ulaşmak için gereken en kısa yolların toplamına göre ters orantılıdır. Bu hesaplama, düğümün ağın diğer bölümlerine ne kadar yakın olduğunu gösterir. Matematiksel olarak, closeness merkeziliği formülü şu şekildedir:

$$C(u) = \frac{1}{\sum_{v \neq u} d(u, v)} \quad (3.2)$$

Closeness merkeziet ölçümünde,  $C(u)$ , bir  $u$  düğümünün closeness merkeziet değeri olarak adlandırılır ve bu düğümün ağ içindeki diğer düğümlere olan ortalama erişilebilirliğini gösterir. Bu değer, bir düğümün ne kadar merkezi olduğunu belirlemek için kullanılır.  $d(u, v)$  ise  $u$  düğümü ile  $v$  düğümü arasındaki en kısa yol mesafesi olarak tanımlanır. Bir düğümün closeness merkeziet değeri, diğer düğümlere olan toplam mesafesinin tersine orantılıdır; yani, bir düğüm diğer düğümlere daha kısa mesafelerle bağlanıyorsa closeness değeri yüksek olur ve daha merkezi bir konumda olduğu anlamına gelir.

Bu formül uyarınca, bir düğümden diğer tüm düğümlere ulaşmak için gereken mesafelerin toplamı azaldıkça closeness değeri artar; dolayısıyla, diğer düğümlere ortalama olarak daha kısa yoldan ulaşabilen düğümler yüksek closeness değerine sahip olur[6].

Closeness merkeziliği, ağ içindeki bir düğümün merkezietini belirleyerek, özellikle bilgi veya etki yayılımının hızlı olması gereken yapılarda hangi düğümlerin en etkin olduğunu gösterir. Closeness merkeziet, düğümlerin ağdaki yayılma hızını veya erişilebilirliğini ölçmek için kullanılır. Yüksek closeness değerine sahip düğümler, genellikle ağın merkezi bölgelerinde yer alır.[45]

Yüksek closeness değerine sahip bir düğüm, genellikle ağda merkezi bir konumda yer alır ve ağın diğer kısımlarına hızla ulaşabilir. Bu durum, ağdaki bilgi yayılımı, etkili iletişim ve

kaynaklara erişim açısından önemli avantajlar sağlar. Örneğin, sosyal ağlarda yüksek closeness değeri olan bir kişi, diğer ağ üyelerine hızlıca ulaşabilir ve bilgi yayılımında daha etkin bir rol oynayabilir. Ulaşım ağlarında ise yüksek closeness değeri olan bir kavşak, şehrin diğer kısımlarına kısa mesafelerle bağlanmış olup trafiği daha verimli şekilde yönlendirme potansiyeline sahiptir.

Closeness merkezilik, bir ağdaki düğümlerin etki alanını ve erişim hızını değerlendiren güçlü bir analiz aracı olarak, ağ yapısının etkinliğini artırmaya yönelik çözümler üretmek için kritik bilgiler sağlar.

### 3.2.3 Betweenness merkeziyeti algoritması

Betweenness merkeziyeti, bir düğümün ağdaki en kısa yollar üzerinde kaç kez yer aldığını belirler. Bu merkezilik ölçütü, bir düğümün diğer düğümler arasındaki bilgi akışındaki rolünü ve önemini gösterir. Yüksek Betweenness değerine sahip düğümler, ağda kritik bir geçiş noktası olarak işlev görür ve bilgi akışını kontrol edebilir[6].

Matematiksel olarak betweenness merkeziyet değeri şu şekilde hesaplanır:

$$g(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (3.3)$$

Betweenness merkeziyet ölçümünde,  $g(v)$ , bir  $v$  düğümünün betweenness merkeziyet değeri olarak adlandırılır ve bu düğümün ağdaki en kısa yollar üzerinde ne kadar kritik bir konumda olduğunu gösterir.  $\sigma_{st}$ , düğüm  $s$  ve düğüm  $t$  arasındaki toplam en kısa yol sayısını ifade eder.  $\sigma_{st}(v)$  ise  $v$  düğümünün bu en kısa yollar üzerinde kaç kez yer aldığını gösterir. Bir düğüm, iki farklı düğüm arasındaki en kısa yolların çoğunda yer alıyorsa, betweenness merkeziyet değeri yüksek olur ve bu, söz konusu düğümün ağ içindeki akışın yönlendirilmesinde önemli bir rol oynadığını gösterir.

Bu formül  $v$ 'nin iki başka düğüm arasında yer alan en kısa yollarda ne kadar sıklıkla bulunduğunu ifade eder. Eğer bir düğüm, çok sayıda farklı düğüm çiftleri arasındaki en kısa yollar üzerinde yer alıyorsa, yüksek bir betweenness değeri alır. Böylece, yüksek betweenness merkeziyetine sahip düğümler ağda stratejik bir konuma sahiptir; çünkü bu düğümler, diğer düğümlerin iletişim veya bilgi akışında kritik geçiş noktaları olarak rol oynar. Kısaca Betweenness merkeziyeti, ağdaki düğümlerin ne kadar "aracılık" yaptığını ölçer. Yüksek

Betweenness değerine sahip düğümler, ağda potansiyel bir güç merkezi veya kritik bağlantı noktası olarak kabul edilir.[46]

Betweenness merkezietiyi, ağ içindeki "aracılar" veya "köprüler" olarak işlev gören düğümleri belirlemeye yönelik güçlü bir araçtır. Bu düğümler, ağın farklı bölümleri arasındaki bilgi akışını kontrol edebilir veya yönlendirebilir. Örneğin, sosyal ağlarda, yüksek betweenness değerine sahip bir kişi, topluluklar arası etkileşimde kritik bir rol oynayabilir ve böylece bilgi yayılımında merkezi bir konumda bulunabilir. Benzer şekilde, ulaşım ağlarında, yüksek betweenness değerine sahip bir kavşak, trafiğin etkin bir şekilde yönlendirilmesi için önemlidir. Bu kavşaklar, ağın farklı bölgelerini birleştirerek akışı sağladıkları için, herhangi bir tıkanıklık durumunda trafik üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilirler.[17]

Betweenness merkezietiyi, özellikle bilgi yayılımı, güç ilişkileri ve ağın kritik noktalarının belirlenmesi gibi konularda analiz için sıkça kullanılır. Sosyal ağ analizlerinde, örgütlenme ve liderlik çalışmalarında, şirket içi bilgi akışını analiz eden kurumsal ağlarda, iletişim ağlarında, biyolojik ağlar ve ulaşım altyapılarında betweenness merkezietinin kullanımı oldukça yaygındır. Örneğin, bir organizasyondaki çalışanlar arasındaki bilgi paylaşımı analiz edilirken, yüksek betweenness değeri olan kişiler, bilgi akışını sağlayan kilit bireyler olarak tanımlanabilir. Ek olarak, biyolojik ağlarda yüksek betweenness değeri olan gen veya proteinler, hücre içi etkileşimlerde kritik bir rol oynayabilir ve bu yüzden hastalık araştırmaları için önemli bir odak noktası oluşturabilir.

Betweenness merkezietinin hesaplanması, ağdaki tüm düğüm çiftleri arasındaki en kısa yolların belirlenmesini ve her bir yol üzerinde hangi düğümlerin yer aldığının ölçülmesini gerektirir. Bu süreç, özellikle büyük ve karmaşık ağlarda oldukça yoğun işlem gücü gerektirir; ancak, ağın yapısal analizinde sağladığı faydalar sayesinde bu işlem maliyetine değer. Karmaşık ağların analizinde, betweenness merkezietinin doğru bir şekilde hesaplanması, ağın kritik düğümlerinin tanımlanmasını ve olası kopukluk veya bağlantı kaybı durumlarında hangi düğümlerin önem arz ettiğini belirlemede etkili sonuçlar sağlar.

### **3.2.4 Malatya merkezilik algoritması**

Malatya Merkezilik Algoritması, bir ulaşım ağı üzerindeki noktaların (kavşaklar veya yollar) trafik yoğunluğu ve erişilebilirlik açısından önem derecesini belirlemek için özel olarak geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritma, özellikle Malatya şehri gibi belirli bir bölgenin trafik koşulları ve yol ağı yapısını dikkate alacak şekilde uyarlanmıştır. [12].

Genel olarak merkezlilik analizlerinde kullanılan betweenness (ara bağlantılar), closeness (yakınlık) ve PageRank gibi ölçütler, bir noktadan diğerine ulaşılabilirlik veya bir yolun diğer yollara olan etkisi gibi özellikleri dikkate alır. Ancak Malatya Merkezlilik Algoritması, bu ölçütlere ek olarak Malatya'nın şehir içi yol ağı yapısını, araç yoğunluk verilerini ve trafik akış karakteristiklerini de özel olarak göz önünde bulundurur.

Matematiksel olarak şu şekilde formüle edilmiştir:

$$\Psi(v_i) = \sum_{\forall v_j \in N(v_i)} \frac{d(v_i)}{d(v_j)} \quad (3.4)$$

Malatya merkezlilik analizinde,  $\Psi(v_i)$ , bir  $v_i$  düğümünün Malatya merkezlilik değeri olarak adlandırılır ve bu düğümün ağ içindeki önemini belirlemek için kullanılır.  $N(v_i)$ , düğüm  $v_i$ 'nin komşu düğümlerini ifade eder, yani doğrudan bağlantılı olduğu düğümlerin kümesidir.  $d(v_i)$  ise düğüm  $v_i$ 'nin derece değeri, yani sahip olduğu bağlantı sayısını gösterir. Bu ölçüm, düğümün yerel ve genel ağ yapısı içindeki etkisini değerlendirmeye yardımcı olur.

Bu algoritmanın uygulanması sırasında her düğüm için komşularının derecesiyle kendi derecesi oranlanır ve sonuçlar toplanır. Hesaplama, hem düğümün kendi önemini hem de komşu düğümlerinin etkisini dikkate alır. Yüksek Malatya merkezlilik değerine sahip düğümler, ağın diğer bölgelerine olan bağlantıları güçlendirir ve trafiğin etkili bir şekilde yönlendirilmesinde kritik bir rol oynar.

Malatya Merkezlilik Algoritması, yerel trafik akışı analizinde ve kavşakların önem derecesini belirlemede güçlü bir araç olarak, ulaşım planlamasına katkı sağlayabilecek yenilikçi bir yöntem sunmaktadır.

### 3.3 Malatya Vertex Cover Algoritması

Vertex Cover, bir grafikteki kenarların en az bir uç noktasını kapsayan minimum sayıda düğümün seçilmesi problemidir. Bu problem, grafikteki kritik noktaların tespit edilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılır. Vertex Cover, özellikle trafik ağları gibi karmaşık sistemlerde, kaynakların optimize edilerek etkin bir şekilde kullanılması için güçlü bir çözüm sunar.[15]

Bir grafa  $G=(V,E)$ ,  $V$  düğümler kümesi ve  $E$  kenarlar kümesini temsil eder. Vertex Cover,  $C \subseteq V$  olacak şekilde, graftaki tüm kenarları kapsayan minimum büyüklükte bir  $C$  kümesi bulmayı amaçlar.[16]

Vertex Cover probleminin amacı,  $|C|$  değerini minimize etmektir. Yani, grafikteki tüm kenarları kapsayan en az sayıda düğüm seçilmeye çalışılır.

---

**Algoritma 1.** Malatya Vertex Cover algoritmasının matematiksel gösterimi[16]

---

Minimum Vertex Cover Algoritması

---

Input: Adjacency matrix of  $G$  is  $A$  and  $G = (V, E)$  //  $G$  graph

---

Output:  $V_c \subseteq V$ ,  $V_c$  bir düğüm kümesidir ve tepe noktası örtme problemi için bir çözümdür

1.  $V_c \leftarrow \emptyset$
  2. While  $E \neq \emptyset$  do
  3.  $i \leftarrow 1, \dots, |V|$   
 $d(v_i)$
  4.  $\psi(v_i) = \sum_{v_j \in N(v_i)} d(v_j)$
  5.  $V_c = V_c \cup \{\max(\psi(v_i))\}$
  6.  $V = V - \{v_i\}$ , and  $E = E - \{(v_i, v_j) \in E\}$
  7. Output= $V_c$
- 

### 3.4 Topluluk Tespit Algoritmaları

Topluluk tespiti algoritmaları, ağ analizinde düğümleri (veya aktörleri) birbirine daha sıkı bağlı olan gruplara ayırmak için kullanılan yöntemlerdir.[20] Topluluk tespiti, sosyal ağlardan biyolojik ağlara, iletişim ağlarından finansal ağlara kadar birçok farklı alanda uygulanabilir. Topluluklar, ağdaki düğümler arasında belirli bir yapısal düzeni ifade eder ve bu düzen, ağın genel işleyişi hakkında önemli bilgiler sunar. Aşağıda, bu çalışmada kullanılan başlıca topluluk tespiti algoritmaları detaylandırılmıştır.

#### 3.4.1 Walktrap algoritması

Walktrap algoritması, topluluk algılama için rastgele yürüyüşlere dayalı bir yaklaşım sunar ve hem güvenilirlik hem de hesaplama açısından verimlilik sağlar. Algoritma, bir ağdaki düğümler arasında bir geçiş olasılıkları matrisi oluşturarak başlar. Bu matrisin her bir elemanı, belirli bir uzunluktaki rastgele bir yürüyüşte bir düğümden diğerine geçme olasılığını temsil eder. Geçiş olasılıkları, düğüm derecelerine veya kenarların ortalama ağırlıklarına dayanır.[24]

Bu geçiş olasılıkları, düğümleler arasındaki mesafeleri belirlemek için bir uzaklık ölçüsü olarak kullanılır. Daha sonra, bu mesafe matrisine, geleneksel bir hiyerarşik kümeleme yöntemi olan Ward yöntemi uygulanır. Bu yöntem, her topluluktaki düğümlelerin kareler toplamını minimize ederek topluluklar oluşturur. Algoritmanın temel amacı, düğümleler arasında iç topluluk geişlelerinin, topluluk dışı geişlelerden daha fazla olduğu topluluk yapıları oluşturmaktır.[27]

Walktrap algoritması, en uygun topluluk ayrımını seçmek için modülerlik ölçütünü kullanır. Önceki çalışmalar, Walktrap algoritmasının özellikle düşük dereceler oranına (in-degree/out-degree) sahip ağlarda ve küçük ölçekli (örneğin, 100 düğümlü) ağlarda iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Bu, özellikle modülerlik eniyileme yöntemleriyle karşılaştırıldığında avantaj sağlar. [29]

Walktrap algoritmasının formülü aşağıda verilmiştir

$$D(i, j) = \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{(P_{in}^m - P_{jn}^m)^2}{d_n}} \quad (3.5)$$

$$D(C_k, C_{k'}) = \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{(P_{C_k n}^m - P_{C_{k'} n}^m)^2}{d_n}} \quad (3.6)$$

Burada:  $P_{C_k j}^m = \frac{1}{N_k} \sum_{i \in C_k} P_{ij}^m$  m adımda  $n_j \notin C_k$  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 düğümleler aynı toplulukta olana kadar 2. ve 3. adımlar tekrarlanır. Son olarak maksimum modülerliğe dayalı olarak artan k ile topluluklar serisinden en iyi K seçilir.[1]

### 3.4.2 Optimal modularity algoritması

Optimal Modularity, bir ağdaki topluluk yapısının ne kadar belirgin olduğunu ölçen bir metriktir. Modularity, bir ağın düğümlelerini topluluklara ayırarak, bu topluluklar içindeki düğümlelerin birbiriyle olan bağlantılarının yoğunluğunu ve topluluklar arasındaki bağlantıların zayıflığını ölçer. Yüksek modularity değeri, iyi tanımlanmış topluluk yapılarına işaret eder[43].

Matematiksel olarak şu şekilde formüle edilmiştir:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} [A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}] \delta(c_i, c_j) \quad (3.7)$$

Modülerlik (Q), bir ağın topluluk yapısını değerlendirmek için kullanılan bir ölçümdür.  $A_{ij}$  ifadesi, i ve j düğümleri arasında bir bağlantının olup olmadığını belirler; eğer bağlantı varsa 1, yoksa 0 değerini alır.  $k_i$  ve  $k_j$ , sırasıyla düğüm i ve j'nin derece değerlerini, yani sahip oldukları bağlantı sayısını ifade eder. M, ağdaki toplam bağlantı sayısını gösterirken,  $\delta(c_i, c_j)$  Kronecker delta fonksiyonudur ve düğüm i ile düğüm j'nin aynı topluluk içinde olup olmadığını kontrol eder; eğer aynı toplulukta larsa 1, değilse 0 değerini alır. Modülerlik değeri, ağın rastgele bir yapıya kıyasla ne kadar güçlü bir topluluk yapısına sahip olduğunu ölçerek, en iyi topluluk ayrımının belirlenmesine yardımcı olur.

### 3.4.3 Spinglass algoritması

Spinglass algoritması, topluluk tespiti amacıyla kullanılan ve özellikle karmaşık ağlarda topluluk yapılarının belirlenmesinde etkili olan bir yöntemdir. Bu algoritma, istatistiksel fizik alanından esinlenerek geliştirilmiş ve adını "spin camları" (spinglass) olarak bilinen fiziksel sistemlerden almıştır. Spin camları, düzensiz manyetik sistemleri temsil eder ve sistemdeki atomların spinlerinin rastgele etkileşimlerde bulunduğu durumları ifade eder. Algoritmanın bu konseptten esinlenerek topluluk tespiti için uyarlanması, ağ üzerindeki düğümlerin topluluklar arasında yer aldığı ve bu toplulukların dinamik bir yapı oluşturduğu fikrine dayanır[24].

Spinglass algoritması, ağın enerji fonksiyonunu optimize ederek düğümler arasındaki en iyi topluluk yapılarını ortaya çıkarır. Algoritmanın temel mantığı, her düğümün belirli bir topluluğa atanmasını sağlayan ve düğümler arasındaki etkileşimleri modelleyen bir Hamiltonian fonksiyonunu minimize etmektir. Bu süreçte, düğümler arası ilişkilerin kuvvetleri, toplulukların belirlenmesinde önemli rol oynar ve sistemin enerjisi minimum seviyeye indiğinde en iyi topluluk yapısı elde edilir.

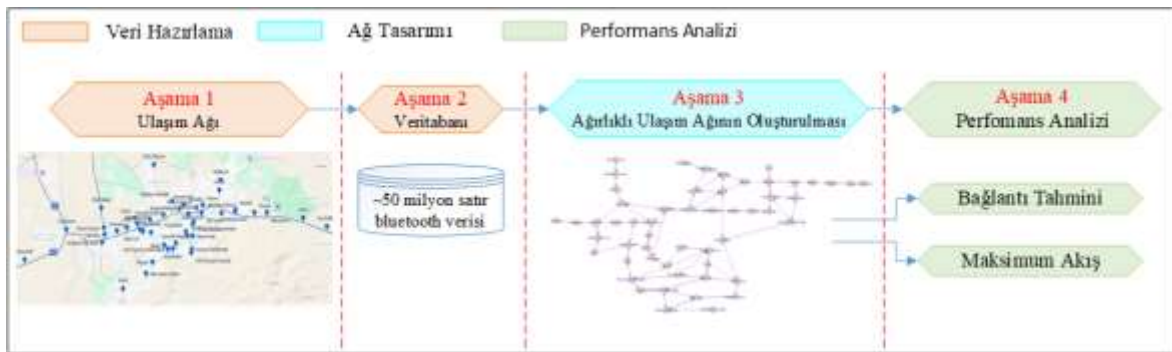
$$H(C) = - \sum_{i \neq j} (A_{ij} - \gamma P_{ij}) \delta(C_i, C_j) \quad (3.8)$$

Spin-glass topluluk tespit algoritmasında, toplulukların belirlenmesi için bir Hamilton fonksiyonu minimize edilir. Bu fonksiyon, grafin yapısını ve belirlenen toplulukları dikkate alarak bir enerji değeri hesaplar.  $H(C)$  ile gösterilen bu fonksiyon, iki temel bileşenden oluşur:

gerçek bağlantılar ve rastgele model bağlantıları.  $A_{ij}$  , grafın komşuluk matrisini ifade eder ve  $i$  ile  $j$  düğümleri arasında doğrudan bir bağlantı olup olmadığını gösterir.  $P_{ij}$  ise, ağın rastgele bir modelle oluşturulmuş versiyonundaki bağlantı olasılığını temsil eder. Bu, Newman-Girvan modülerliği gibi yaklaşımlarda da kullanılan null model kavramına benzer.  $\gamma$ (gamma), çözünürlük parametresidir ve toplulukların boyutlarını dengelemek için kullanılır; küçük  $\gamma$  değerleri büyük toplulukları, büyük  $\gamma$  değerleri ise küçük toplulukları teşvik eder.  $\delta(C_i, C_j)$  Kronecker delta fonksiyonudur ve  $i$  ve  $j$  düğümlerinin aynı toplulukta olup olmadığını belirler; eğer aynı toplulukta iseler 1, farklı topluluklardaysa 0 değeri alır. Bu fonksiyonun toplam değeri minimize edilerek, topluluk yapısı enerji açısından en dengeli hale getirilir ve optimal topluluk ayrımı elde edilir.[47]

### 3.5 Bağlantı Tahmini ve Maksimum Akış Algoritmaları

Sunulan çalışmadaki analiz süreçleri birkaç aşamadan oluşmaktadır. Şekil 3.4’de belirtildiği üzere analiz süreci 4 aşamada gösterilmiştir. Aşama 1’de araç sayım verilerinin toplanması için Malatya kent merkezinde kurulan bluetooth cihazlarının konumları belirtilmiştir. Aşama 2’de bluetooth cihazlarından elde edilen yaklaşık 50 milyon araç sayım verisi, veri ön işleme süreçlerinden geçirilerek analize uygun formata getirilmiştir. Aşama 3’de ise ulaşım ağı verileri ve araç sayım verileri ile araç sayım verileri ile ağırlıklandırılmış ulaşım ağı çizgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan ulaşım ağı çizgesi 54 kavşak ve 147 yol bağlantısından oluşmaktadır. Aşama 4’de ise ulaşım ağı üzerinde alternatif yol güzelgahları hakkında öneri oluşturacak link prediction analizi ve iki farklı lokasyon arasındaki maksimum trafik kapasite analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 Sunulan çalışmanın grafiksel özeti.

### 3.5.1 Bağlantı tahmini

Bağlantı tahmini, bir graf veya ağ yapısında eksik veya gelecekte oluşabilecek bağlantıları öngörmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, özellikle sosyal ağlar, biyolojik ağlar ve ulaşım sistemleri gibi veri yoğun ortamlarda önemli bir rol oynar. Yöntemin temelinde, mevcut düğümler ve bağlantılar arasındaki topolojik desenleri inceleyerek olası yeni bağlantıların belirlenmesi yer alır[48].

Bağlantı tahmininde yaygın olarak kullanılan teknikler arasında düğümler arasındaki benzerlik ölçümleri, rastgele yürüyüş algoritmaları ve makine öğrenimi modelleri bulunmaktadır. Örneğin, iki düğüm arasındaki ortak komşuların sayısı veya kısa yol uzunluğu gibi metrikler, bu tahminin doğruluğunu artırmak için kullanılabilir.

Bağlantı tahmini, ağın dinamiklerini anlamaya, ağdaki eksik bilgileri tamamlamaya ve gelecekteki bağlantıları tahmin etmeye olanak tanıyarak daha etkili planlama ve karar alma süreçlerine katkı sağlar. Özellikle trafik ağlarında, bağlantı tahmini ile yoğunluk yaratabilecek yeni bağlantılar tespit edilerek altyapı planlaması optimize edilebilir[49].

Jaccard ve Cosine, bağlantı tahmini yöntemlerinde düğümler arasındaki benzerlik ölçümleri için kullanılan iki farklı metrik türüdür. Bu metrikler, ağ yapısına göre hangi düğümlerin arasında bağlantı kurulabileceğini veya kurulmasının muhtemel olduğunu anlamamıza yardımcı olur.

#### 3.5.1.1 Jaccard benzerlik katsayısı

İki düğümün ortak komşularının, bu düğümlerin toplam komşu sayısına oranını ifade eder. Bu metrik, iki düğüm arasında ne kadar ortak paylaşıma sahip olduğunu gösterir[41].

Matematiksel olarak şu şekilde formüle edilmiştir:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (3.9)$$

Jaccard katsayısı, iki veri kümesi (A ve B) arasındaki benzerliği ölçen bir metrik olup, ortak elemanların toplam benzersiz elemanlara oranını ifade eder.  $|A \cap B|$  ifadesi, A ve B kümelerinin kesişiminde bulunan ortak elemanların sayısını gösterirken,  $|A \cup B|$  ifadesi, bu iki kümenin birleşimindeki benzersiz elemanların toplam sayısını belirtir. Jaccard katsayısı 0 ile 1 arasında değişir;  $J = 1$  olduğunda iki küme tamamen aynı,  $J = 0$  olduğunda ise hiçbir ortak

eleman içermeyen tamamen farklı kümeler anlamına gelir. Bu katsayı, özellikle küme tabanlı benzerlik ölçümlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Jaccard benzerliği, sosyal ağlar ve bilgi tabanlı sistemlerde düğümler arasında bağlantı oluşma olasılığını belirlemek için yaygın olarak kullanılır.

### 3.5.1.2 Cosine benzerliği

Cosine Benzerliği, iki vektör arasındaki benzerliği ölçmek için kullanılan bir metriktir ve bu vektörlerin birbirlerine olan açılarına dayanır. Vektörler arasındaki benzerlik, açı küçüldükçe artar. Eğer iki vektör tam olarak aynı yönde ise benzerlik değeri 1, eğer birbirine dik ise 0 ve tam zıt yönde ise -1 olur. Bu metrik genellikle metin madenciliği, bilgi alma ve makine öğrenimi gibi alanlarda kullanılır. [37]

Matematiksel olarak şu şekilde formüle edilmiştir:

$$\text{Cosine Benzerliği} = \frac{A \cdot B}{\|A\| \cdot \|B\|} \quad (3.10)$$

İki vektör arasındaki benzerliği ölçmek için kullanılan temel kavramlardan biri skaler çarpım ( $A \cdot B$ ) ve öklid normudur. Skaler çarpım, A ve B vektörlerinin bileşenleri çarpılıp toplanarak elde edilen bir değerdir.  $\|A\|$  ve  $\|B\|$  ise sırasıyla A ve B vektörlerinin öklid normlarıdır ve her bir vektörün bileşenlerinin kareleri toplamının karekökü alınarak hesaplanır. Öklid normu, bir vektörün uzunluğunu ifade eder ve skaler çarpımla birlikte vektörler arasındaki açıyı ve benzerliği belirlemede kullanılır. Özellikle kosinüs benzerliği gibi metriklerde bu hesaplamalar önemli bir rol oynar.

Cosine benzerliği, iki vektör arasındaki açıyı kullanarak benzerlik ölçümü yapan bir yöntemdir. İki vektör arasındaki kosinüs değeri, bu vektörlerin aynı yönü paylaşma derecesini ifade eder ve 0 ile 1 arasında bir değer alır. Cosine benzerliği, vektörlerin büyüklüğünü (normunu) değil, yönlerini dikkate alır, bu nedenle özellikle metin madenciliği ve bilgi erişimi gibi yüksek boyutlu veri kümelerinde sıkça kullanılır. [38]

Cosine benzerliği, büyük veri kümelerinde ve ağ analizlerinde yönlü ilişki tespiti için kullanılır. Örneğin, belgeler arasında benzerlik ölçümünde ve sosyal ağ analizlerinde kullanılır.

### 3.5.2 Maksimum akış

Maksimum akış, ağ optimizasyonu ve akış teorisinin önemli bir problemidir. Bu problem, bir akış ağı üzerindeki başlangıç düğümünden son düğüme ulaşabilen en yüksek akış miktarını belirlemeyi amaçlar. Bir akış ağı, belirli düğümleri ve bu düğümleri birbirine bağlayan yönlü kenarları içerir. Her bir kenar, üzerinde taşınabilecek maksimum akış miktarını temsil eden bir kapasiteye sahiptir. Amaç, bu kapasite kısıtlamalarına uyarak kaynaktan hedefe en fazla akışı gerçekleştirmektir.[35]

Maksimum akış probleminin çözümü, birçok mühendislik ve operasyonel uygulamada önem arz eder; örneğin, ulaşım ve lojistik ağlarının tasarımında, telekomünikasyon ağlarının bant genişliği optimizasyonunda, üretim hatlarının verimliliğinin artırılmasında ve su dağıtım sistemlerinde optimal su akışının belirlenmesinde kullanılır. Ağ optimizasyonu ayrıca elektrik şebekeleri ve veri transferi sistemleri gibi kritik altyapıların planlanmasında da kilit rol oynar.

Maksimum akış problemini çözmek için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Ford-Fulkerson algoritması bunlardan biridir. Ve akış artırıcı yolları tekrarlı olarak bulup akışı artırarak çalışır ve ağda daha fazla akış mümkün olmayana kadar devam eder.[50]

$$\sum_{v \in V} f(u, v) = 0, \quad \text{for all } u \neq s, t \quad (3.11)$$

Bu formülde,  $f(u, v)$  ifadesi, bir ağdaki  $u$  düğümünden  $v$  düğüme akan akışı temsil eder.  $s$  düğümü, ağdaki kaynak düğümünü ifade ederken,  $t$  düğümü ise hedef düğümünü belirtir. Ağdaki tüm düğümler kümesi  $V$  ile gösterilir. Ford-Fulkerson algoritması, belirli kurallara dayanarak maksimum akışı hesaplar. Bunlardan biri, kapasite kısıtıdır; bu kısıt, her kenar üzerinden geçen akışın o kenarın kapasitesini aşmaması gerektiğini ifade eder. Yani, her durumda  $f(u, v) \leq c(u, v)$  koşulu sağlanmalıdır. İkinci önemli kural ise akış korunumu ilkesidir. Bu ilkeye göre, kaynak ve hedef düğümler haricindeki her düğümde, düğüme gelen toplam akış ile düğümden çıkan toplam akış birbirine eşit olmalıdır. Ayrıca, Ford-Fulkerson algoritması, ters akış kuralını da içerir; bu kurala göre, bir düğümden diğerine olan akışın negatif yönlü karşılığı da tanımlıdır, yani  $f(u, v) = -f(v, u)$  eşitliği sağlanır. Elektrik iletim ağlarında bu formüller kullanılarak, enerji transferi sırasında oluşan kayıplar minimize edilir ve güç akışları en verimli şekilde yönlendirilir.[50]

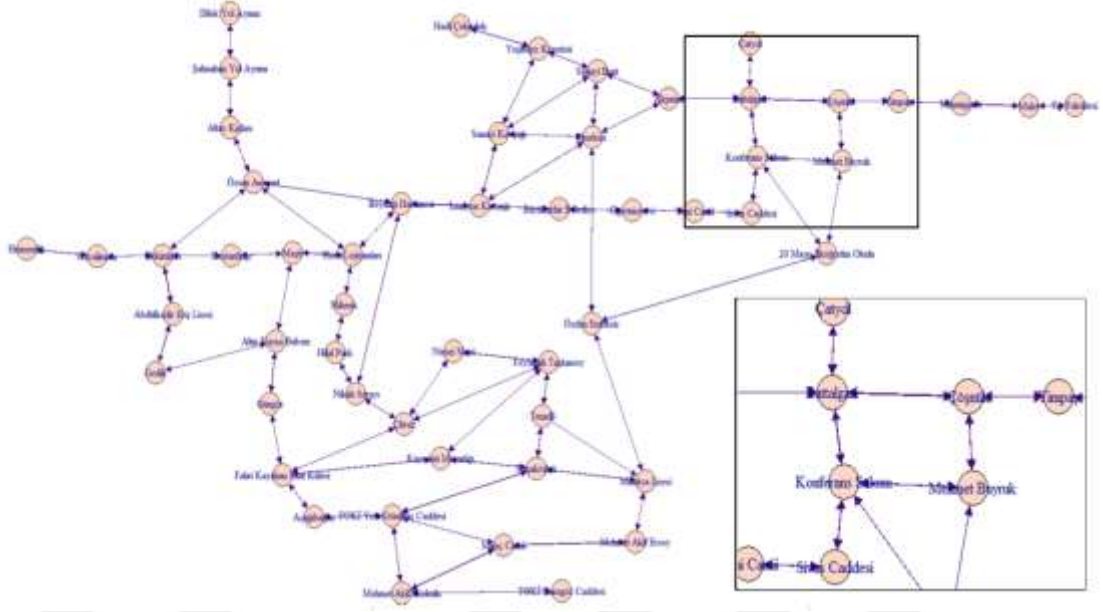
Bu algoritmaların temel dayanağı, Max-Flow Min-Cut Teoremi ile tanımlanır. Bu teorem, bir ağdaki maksimum akışın, kaynağı hedeften ayıran en küçük kesit (min-cut) ile aynı olduğunu belirtir. Başka bir deyişle, bir ağda kaynaktan hedefe gönderilebilecek en fazla akış miktarı, kaynağı hedeften ayıran ve toplam kapasitesi en düşük olan kenarların toplam kapasitesine eşittir.[51]

Maksimum akış problemlerinin çözümü, teorik açıdan önemli olduğu kadar pratik uygulamalarda da geniş bir yelpazeye sahiptir. Örneğin, taşımacılık ağlarında en verimli yük dağıtımını sağlamak, şehir içi trafik akışını optimize etmek veya iletişim ağlarında veri paketlerinin en iyi şekilde yönlendirilmesini sağlamak gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Bu durum, maksimum akış algoritmalarının geliştirilmesinin ve uygulanmasının önemini ve karmaşıklığını vurgular.

#### **4. DENEYSEL SONUÇLAR**

Çalışmada bir kentin ulaşım ağının iyileştirilmesine yönelik kapsamlı analizler gerçekleştirilmiştir. Özgün olarak oluşturulan ulaşım ağı çizgesi 54 kavşak ve 147 yol bağıntısından oluşmaktadır. Ulaşım ağı çizgesine ait görsel Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Oluşturulan bluetooth araç sayım cihazı verileri kullanılarak ağırlıklı ve yönlü olarak tasarlanmıştır.

Bu ulaşım ağı çizgesi üzerinde çeşitli merkezîyet ve akış analizleri gerçekleştirilerek, kentin trafik dinamikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada kullanılan algoritmalar sayesinde kritik kavşaklar, alternatif güzergahlar ve trafik sıklığının yoğunlaştığı noktalar belirlenmiştir. Elde edilen veriler, trafik yönetimi ve altyapı planlamasına yönelik stratejik kararların alınmasına katkı sağlayacak şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1 Malatya kenti ulaşım ağı çizelgesi.

#### 4.1 Merkezlilik Algoritmaları Analiz Sonuçları

Tasarlanan ulaşım ağına PageRank, Closeness ve Betwennes algoritmaları uygulanmış ve sonuçları aşağıda sırayla verilmiştir.

##### 4.1.1 RageRank algoritması sonuçları

Malatya'daki kavşakların PageRank algoritması ile analiz edilmesi sonucunda aşağıdaki Çizelge-1 elde edilmiştir. Bu algoritma, her bir kavşağın ağıdaki diğer düğümlerle olan bağlantı yoğunluğunu ve önem derecesini belirlemek için kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 : PageRank algoritması sonuçlarına göre önemli kavşaklar

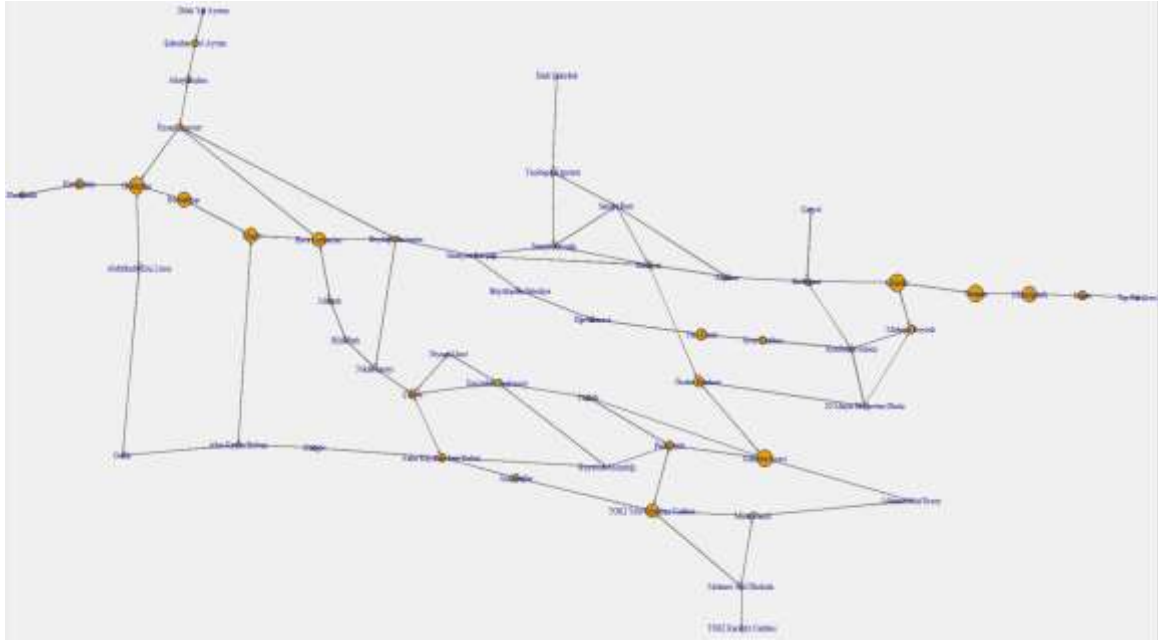
| Sıralama | Temmuz                          | Ağustos                         | İki Aylık                       |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1        | Yimpaş –<br>0.044750080         | Yimpaş –<br>0.046293313         | Çöşnük –<br>0.046307060         |
| 2        | Çöşnük –<br>0.044629852         | Çöşnük –<br>0.046082971         | Yimpaş –<br>0.046233975         |
| 3        | Hekimhan –<br>0.043573315       | Malatya Lisesi –<br>0.045884170 | Hekimhan –<br>0.043464581       |
| 4        | Malatya Lisesi –<br>0.042086332 | Hekimhan –<br>0.043304430       | Malatya Lisesi –<br>0.043351232 |
| 5        | Mışmıspark –<br>0.039025450     | Bostanbaşı –<br>0.042520479     | Bostanbaşı –<br>0.040541398     |
| 6        | Bostanbaşı –<br>0.038265179     | Maşti -<br>0.040916378          | Mışmıspark –<br>0.039649161     |

|    |                                             |                                             |                                             |
|----|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 7  | Hava Lojmanları -<br>0.037707179            | Mişmişpark –<br>0.039327177                 | Maşti -<br>0.039351190                      |
| 8  | Maşti –<br>0.037690057                      | Hava Lojmanları –<br>0.039226734            | Hava Lojmanları –<br>0.038456182            |
| 9  | TOKİ Yolu Gönültaş<br>Caddesi – 0.035001117 | TOKİ Yolu Gönültaş<br>Caddesi - 0.036474166 | TOKİ Yolu Gönültaş<br>Caddesi - 0.035613684 |
| 10 | Yeni Camii -<br>0.028712882                 | Özden Emeksiz -<br>0.031522213              | Özden Emeksiz -<br>0.029417110              |
| 11 | Özden Emeksiz –<br>0.028644257              | Öğretmenevi –<br>0.028415652                | Yeni Camii –<br>0.027047130                 |
| 12 | Havalimanı –<br>0.026356885                 | Paşaköşkü –<br>0.027211054                  | Paşaköşkü –<br>0.025225813                  |
| 13 | Paşaköşkü –<br>0.023711683                  | Yeni Camii –<br>0.026408074                 | Mehmet Buyruk –<br>0.023875166              |
| 14 | Çilesiz -<br>0.023119866                    | Mehmet Buyruk –<br>0.022469410              | Havalimanı –<br>0.023008714                 |
| 15 | Mehmet Buyruk –<br>0.023094875              | Çilesiz -<br>0.022074544                    | Çilesiz –<br>0.022590520                    |
| 16 | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 0.021936948  | Malet -<br>0.021317523                      | Malet –<br>0.021743225                      |
| 17 | Malet -<br>0.021784793                      | Havalimanı –<br>0.020209076                 | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 0.020826532  |
| 18 | Sivas Caddesi –<br>0.020629410              | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 0.019731987  | Feyzullah Taşkınsoy –<br>0.019373013        |
| 19 | Aşağıbağlar –<br>0.019483927                | Özsan Anayurt –<br>0.019705233              | Özsan Anayurt –<br>0.019240981              |
| 20 | Feyzullah Taşkınsoy –<br>0.019440074        | Feyzullah Taşkınsoy-<br>0.019311878         | Öğretmenevi –<br>0.019184795                |

PageRank analizine göre, yüksek merkezilik değerlerine sahip kavşaklar, Malatya'nın trafik akışında kilit rol oynamaktadır. Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek merkezilik değerine sahip düğümler arasında önemli bir istikrar görülmektedir. Yimpaş kavşağı Temmuz ve Ağustos aylarında 0.044750080 ve 0.046293313 değerleri ile birinci kavşak iken, iki aylık toplamda 0.046233975 değeriyle ikinci sırada yer almıştır. Çöşnük kavşağı Temmuz ve Ağustos aylarında 0.044629852 ve 0.046082971 değerleri ile ikinci sıradayken, iki aylık toplamda 0.046307060 değeriyle birinci sıraya yükselmiştir. Yimpaş, Çöşnük ve Hekimhan kavşakları, iki ay boyunca sürekli yüksek değerler almış ve trafik yoğunluğu açısından kritik birer düğüm olduğunu kanıtlamıştır. Bu noktalar için altyapı iyileştirmeleri, sinyalizasyon optimizasyonları ve alternatif yönlendirme çözümleri geliştirilmelidir. Ayrıca, yaz aylarında artan trafikle birlikte Malatya Lisesi Kavşağı gibi ikinci derecede önemli kavşakların da trafiği rahatlatarak şekilde ele alınması gerekmektedir.

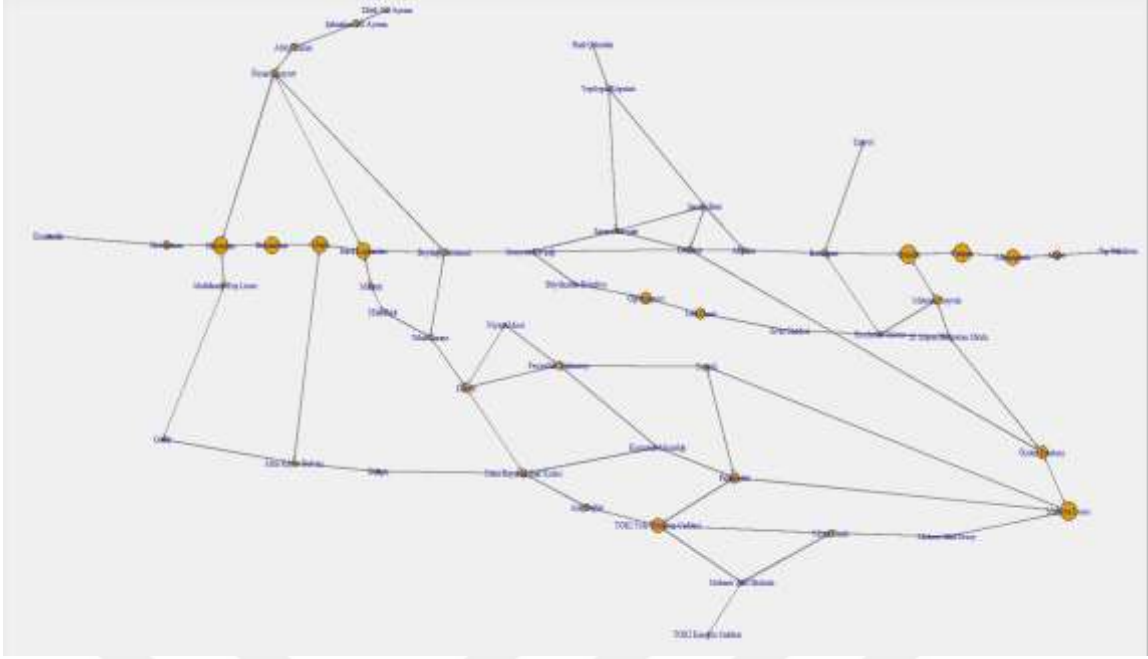
Alt sıralardaki değişimlere bakıldığında, Özden Emeksiz, Öğretmenevi ve Paşaköşkü gibi noktaların sıralamalarında dalgalanmalar yaşandığı görölmektedir. Havalimanı, Fahri Kayahan Saat Kulesi ve Feyzullah Taşkınsoy gibi konumlar ise belirli bir merkezîyet seviyesini korurken, bazı bölgelerin göreceli öneminin değiştığı gözlemlenmektedir. Bu değişimler, mevsimsel faktörler, yol çalışmaları veya alternatif güzergah kullanımları gibi etkenlerden kaynaklanıyor olabilir.

Aşağıda sırayla PageRank algoritması sonuçlarına göre ağırlıklandırılmış kavşakların görüntüleri verilmiştir.



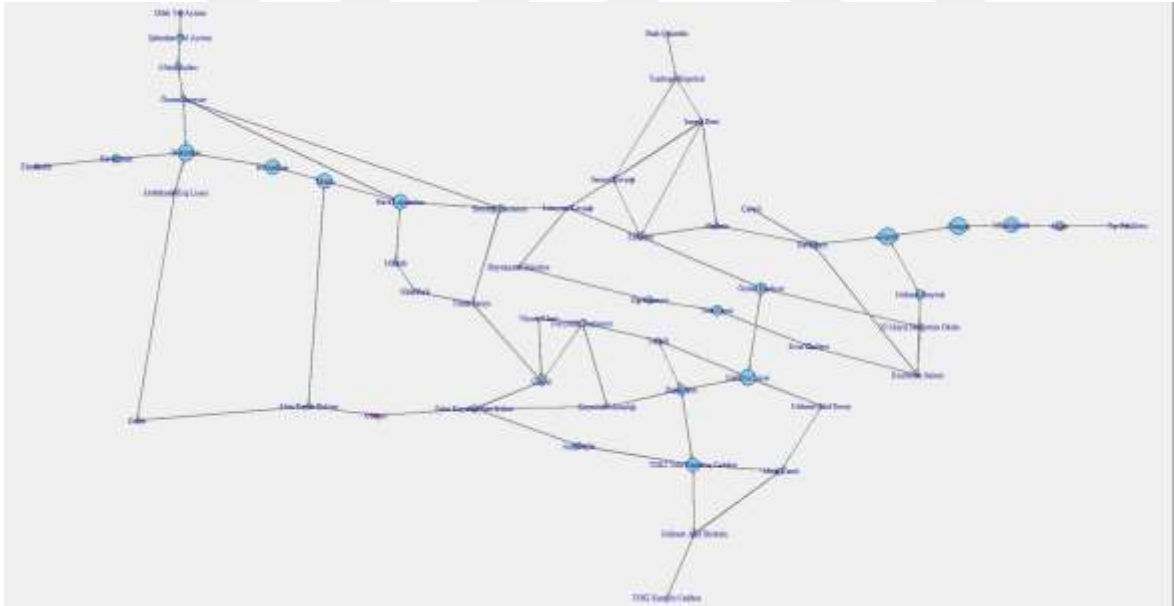
**Şekil 4.2** PageRank algoritması Temmuz ayı verileri sonuç görseli.

Şekil 4.2’de PageRank algoritması, kavşakların Temmuz ayı verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.



**Şekil 4.3** PageRank algoritması Ağustos ayı verileri sonuç görseli.

Şekil 4.3’de PageRank algoritması, kavşakların Ağustos ayı verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.



**Şekil 4.4** PageRank algoritması iki aylık toplam verilerin sonuç görseli.

Şekil 4.4’de PageRank algoritması, kavşakların Ağustos ve Temmuz ayları toplam verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.

#### 4.1.2 Closeness algoritması sonuçları

Malatya'daki kavşakların ağ üzerindeki erişilebilirlik derecelerini Çizelge 4.2'de Closeness algoritması sonuçları göstermektedir. Closeness merkeziet, bir kavşağın diğer tüm kavşaklara olan ortalama en kısa mesafesini ölçerek, bu kavşağın ne kadar ulaşılabilir olduğunu değerlendirmemizi sağlar. Bu analiz, trafik akışını iyileştirmek ve kritik bağlantı noktalarını belirlemek için önemli bilgiler sunmaktadır.

**Çizelge 4.2 :** Closeness algoritması sonuçlarına göre önemli kavşaklar

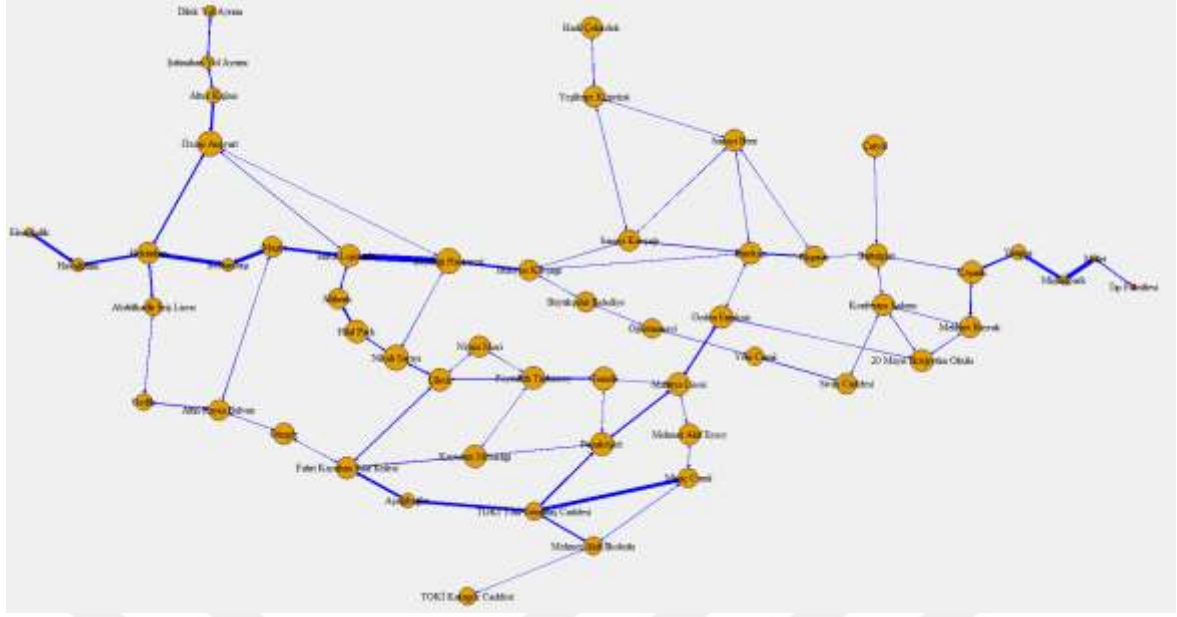
| Sıralama | Temmuz                                  | Ağustos                                 | İki Aylık                               |
|----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1        | Beydağı Hastanesi -<br>3,79E-01         | Beydağı Hastanesi -<br>3,79E-01         | Beydağı Hastanesi -<br>1,89E-01         |
| 2        | Nikah Sarayı –<br>3,76E-01              | Nikah Sarayı –<br>3,78E-01              | Nikah Sarayı –<br>1,88E-01              |
| 3        | Özsan Anayurt –<br>3,74E-01             | Özsan Anayurt –<br>3,74E-01             | Özsan Anayurt<br>1,87E-01               |
| 4        | Paşaköşkü –<br>3,49E-01                 | Çilesiz –<br>3,46E-01                   | Paşaköşkü –<br>1,74E-01                 |
| 5        | Özden Emeksiz –<br>3,45E-01             | Paşaköşkü –<br>3,46E-01                 | Battalgazi –<br>1,72E-01                |
| 6        | Temelli –<br>3,44E-01                   | Battalgazi –<br>3,45E-01                | Özden Emeksiz –<br>1,72E-01             |
| 7        | Battalgazi –<br>3,44E-01                | Özden Emeksiz –<br>3,43E-01             | Temelli –<br>1,72E-01                   |
| 8        | Çöşnük –<br>3,41E-01                    | Temelli –<br>3,43E-01                   | Çilesiz –<br>1,71E-01                   |
| 9        | Çilesiz –<br>3,41E-01                   | Çöşnük –<br>3,41E-01                    | Çöşnük-<br>1,70E-01                     |
| 10       | Hilal Park –<br>3,40E-01                | Hilal Park –<br>3,40E-01                | Hilal Park –<br>1,69E-01                |
| 11       | Feyzullah Taşkınsoy -<br>3,39E-01       | Feyzullah Taşkınsoy -<br>3,37E-01       | Feyzullah Taşkınsoy -<br>1,69E-01       |
| 12       | Kuyuönü Mezarlığı -<br>3,38E-01         | Kuyuönü Mezarlığı -<br>3,35E-01         | Kuyuönü Mezarlığı -<br>1,68E-01         |
| 13       | Malatya Lisesi –<br>3,37E-01            | 20 Mayıs İlköğretim<br>Okulu - 3,33E-01 | Malatya Lisesi –<br>1,67E-01            |
| 14       | Hava Lojmanları -<br>3,36E-01           | Malatya Lisesi –<br>3,33E-01            | 20 Mayıs İlköğretim<br>Okulu - 1,67E-01 |
| 15       | 20 Mayıs İlköğretim<br>Okulu - 3,35E-01 | Çatyol –<br>3,33E-01                    | Hava Lojmanları -<br>1,66E-01           |
| 16       | Çatyol -<br>3,31E-01                    | Hava Lojmanları -<br>3,31E-01           | Çatyol –<br>1,66E-01                    |
| 17       | Konferans Salonu -<br>3,31E-01          | Konferans Salonu -<br>3,30E-01          | Konferans Salonu -<br>1,65E-01          |
| 18       | Emeksiz –                               | Sivas Caddesi –                         | Emeksiz –                               |

|    |                                         |                          |                                         |
|----|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
|    | 3,30E-01                                | 3,30E-01                 | 1,64E-01                                |
| 19 | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 3,27E-01 | Emeksiz –<br>3,29E-01    | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 1,63E-01 |
| 20 | Sanayi Bent –<br>3,24E-01               | Yeni Camii –<br>3,27E-01 | Sanayi Bent –<br>1,62E-01               |

Closeness algoritmasının oluşturduğu çizelgeye bakacak olursak, Malatya'daki belirli kavşakların trafik erişilebilirliği açısından merkezi rollerini ortaya koymuştur. Beydağı Hastanesi, Nikah Sarayı ve Özsan Anayurt kavşakları, diğer kavşaklara olan yakınlıkları sayesinde Temmuz ve Ağustos ayları algoritma sonuçlarına göre şehir içi trafiğin önemli düğümleri olarak öne çıkmaktadır. Beydağı Hastanesi kavşağı iki aylık toplamda 1,89E-01 değerini alarak ilk sırada gelmiştir. Nikah Sarayı kavşağı iki aylık toplamda 1,88E-01 değerini alarak ikinci sırada gelirken, Özsan Anayurt kavşağı 1,87E-01 değeriyle üçüncü sıradadır. Söz konusu bölgelerin ulaşım açısından şehrin diğer noktalarına en kısa mesafelerde bağlandığını göstermektedir. Bu kavşakların trafik planlamasında öncelikli olarak ele alınması ve ulaşım ağındaki öneminin korunması gerektiği değerlendirilmektedir. İki aylık ortalamalar dikkate alındığında da aynı sıralamanın korunması, bu noktaların trafik açısından sürekli önemli bir konumda olduğunu desteklemektedir. Özellikle, trafik sıkışıklığını azaltmak ve ulaşım sürelerini iyileştirmek için bu kavşaklarda altyapı düzenlemeleri yapılabilir.

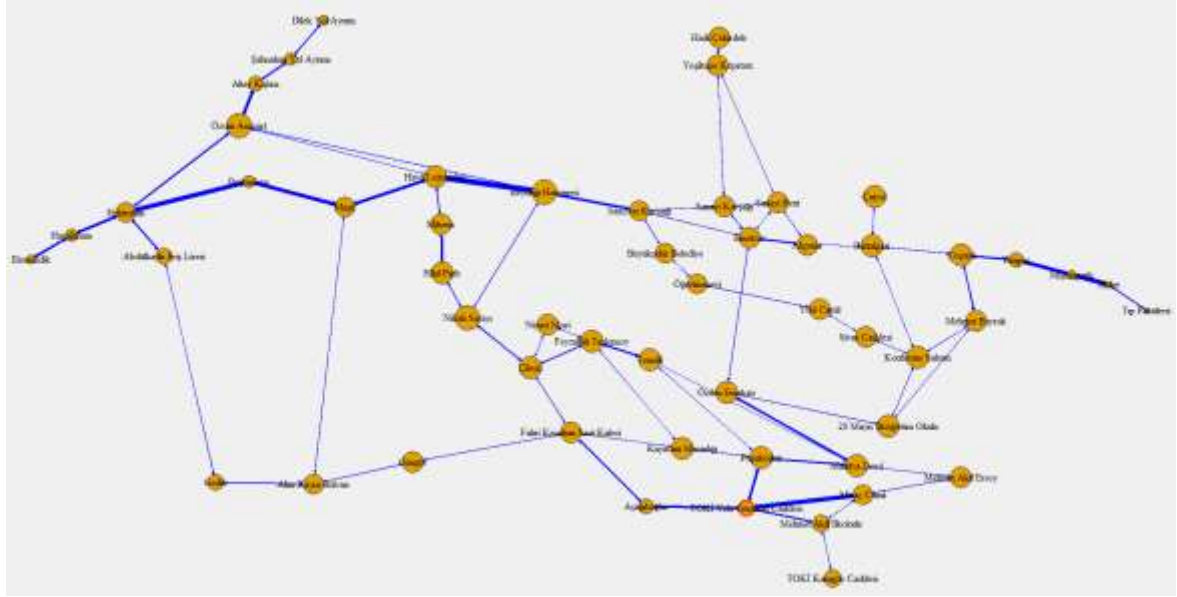
Alt sıralara bakıldığında, Çilesiz, Paşaköşkü, Battalgazi ve Hilal Park gibi bölgelerin istikrarlı bir şekilde yüksek Closeness değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu noktalar, merkezi lokasyonları ve bağlantı yoğunlukları nedeniyle ulaşım sürelerini optimize eden bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Ancak, belirli noktalarda sıralama değişiklikleri yaşanmış olup, özellikle Çatyol ve 20 Mayıs İlköğretim Okulu gibi bölgeler, Ağustos ayında yükseliş göstermiştir. Bu tür değişimler, mevsimsel etkiler, yol kapanmaları veya yeni güzergah tercihlerinden kaynaklanıyor olabilir.

Aşağıda sırayla Closeness algoritması sonuçlarına göre ağırlıklandırılmış kavşakların görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.5** Closeness algoritması Temmuz ayı verileri sonuç görseli.

Şekil 4.5’de Closeness algoritması, kavşakların Temmuz ayı verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların ve kavşaklara bağlı yolların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.



**Şekil 4.6** Closeness algoritması Ağustos ayı verileri sonuç görseli.

Şekil 4.6’da Closeness algoritması, kavşakların Ağustos ayı verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların ve kavşaklara bağlı yolların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.



**Çizelge 4.3 :** Betwenness algoritması sonuçlarına göre önemli kavşaklar.

| Sıralama | Temmuz                             | Ağustos                            | İki Aylık                          |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1        | Malatya Lisesi –<br>896            | Beydağı Hastanesi -<br>911         | Beydağı Hastanesi -<br>898         |
| 2        | Beydağı Hastanesi -<br>893         | Malatya Lisesi –<br>879            | Malatya Lisesi –<br>889            |
| 3        | Özden Emeksiz –<br>867             | Özden Emeksiz –<br>846             | Özden Emeksiz –<br>866             |
| 4        | İstasyon Kavşağı –<br>780          | Kuyuönü Mezarlığı -<br>774         | Kuyuönü Mezarlığı -<br>768         |
| 5        | Kuyuönü Mezarlığı -<br>775         | Paşaköşkü –<br>732                 | İstasyon Kavşağı –<br>765          |
| 6        | Paşaköşkü –<br>744                 | İstasyon Kavşağı –<br>726          | Paşaköşkü –<br>739                 |
| 7        | Özsan Anayurt –<br>725             | Özsan Anayurt –<br>706             | Özsan Anayurt –<br>712             |
| 8        | Emeksiz –<br>629                   | Battalgazi –<br>592                | Emeksiz –<br>619                   |
| 9        | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 600 | Sanayi Bent –<br>592               | Sanayi Bent –<br>606               |
| 10       | Sanayi Bent –<br>598               | Emeksiz –<br>580                   | Battalgazi –<br>589                |
| 11       | Battalgazi –<br>579                | 20 Mayıs İlköğretim<br>Okulu - 563 | 20 Mayıs İlköğretim<br>Okulu - 556 |
| 12       | 20 Mayıs İlköğretim<br>Okulu - 541 | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 511 | Fahri Kayahan Saat<br>Kulesi - 502 |
| 13       | Nikah Sarayı –<br>468              | Nikah Sarayı –<br>504              | Nikah Sarayı –<br>486              |
| 14       | Konferans Salonu –<br>427          | Konferans Salonu –<br>478          | Konferans Salonu –<br>447          |
| 15       | Çöşnük –<br>392                    | Çilesiz –<br>394                   | Çöşnük –<br>392                    |
| 16       | Çilesiz –<br>358                   | Çöşnük –<br>392                    | Çilesiz –<br>382                   |
| 17       | Güngör –<br>350                    | Güngör –<br>376                    | Güngör –<br>367                    |
| 18       | Mehmet Akif Ersoy -<br>337         | Feyzullah Taşkınsoy -<br>337       | Mehmet Akif Ersoy -<br>334         |
| 19       | Hekimhan –<br>328                  | Mehmet Akif Ersoy -<br>334         | Feyzullah Taşkınsoy -<br>331       |
| 20       | Akpınar –<br>316                   | Altın Kayısı Bulvarı -<br>322      | Akpınar –<br>327                   |

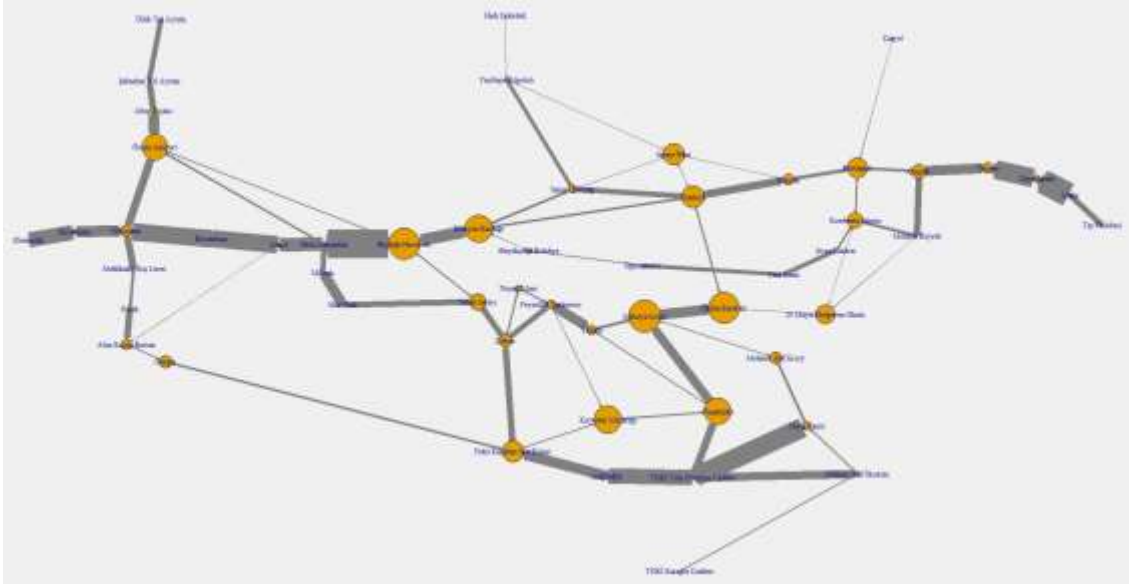
Betweenness merkezîyet algoritması analizi sonuçlarına göre, Beydağı Hastanesi, Malatya Lisesi ve Özden Emeksiz kavşak noktaları en kritik bağlantı noktaları olarak öne çıkmaktadır. Bu noktalar, ağ üzerindeki en fazla alternatif güzergahı barındırarak trafik akışının yönlendirilmesinde kilit roller üstlenmektedir. Malatya Lisesi kavşağının Temmuz ayındaki

Betweenness değeri 896 ile en yukarıda iken Ağustos ayındaki değeri 879 olmuş ve ikinci sıraya gerilemiştir. Beydağı Hastanesi kavşağı'nın Temmuz ayındaki değeri 893 ile ikinci sıradayken Ağustos ayında değeri 911 olmuş ve ilk sıraya yükselmiştir. Bu Beydağı Hastanesi kavşağı bölgesinin trafik açısından daha da kritik hale geldiğini gösteriyor olabilir. Beydağı Hastanesi kavşağı iki aylık ortalamada birinci sırada yer alarak genel olarak güçlü bir kavşak olarak kalmaya devam etmiştir. Özden Emeksiz kavşağı aylık bazda ve toplamda yerini koruyarak ilk üç önemli kavşak noktasında kalmıştır.

Kuyuönü Mezarlığı ve İstasyon Kavşağı gibi noktalar ilk 5 sırada yer alarak, şehirdeki ana geçiş noktaları arasında olduklarını göstermektedir. Kuyuönü Mezarlığı kavşağının Ağustos ayında yükselişe geçmesi, muhtemelen güzergah tercihlerindeki değişikliklerden veya trafik yönlendirmelerinden kaynaklanmaktadır.

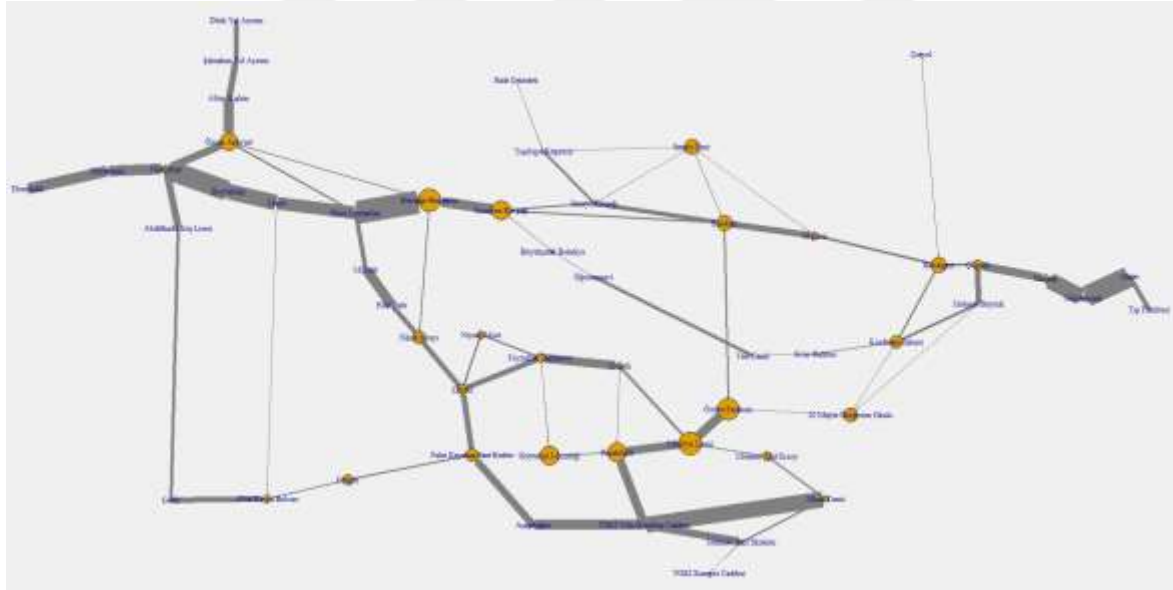
Özsan Anayurt, Emeksiz ve Fahri Kayahan Saat Kulesi kavşakları gibi noktalar orta sıralarda istikrarlı bir şekilde yer almakta, yani önemli bağlantı noktaları olmalarına rağmen bazı alternatif güzergahlar bulunduğunu da göstermektedir. Sanayi Bent'in iki aylık sıralamada yükselmesi, bu bölgenin giderek daha fazla kullanılan bir bağlantı noktası haline geldiğini gösteriyor olabilir. Alt sıralarda yer alan Çöşnük, Çilesiz, Güngör ve Mehmet Akif Ersoy kavşakları gibi noktalar, merkezîyet açısından daha az kritik olup, şehir içi trafiğin büyük oranda diğer ana arterler üzerinden aktığını gösteriyor.

Genel olarak, betweenness merkezîyeti analizinde en yüksek değerlere sahip noktalar, şehrin trafik akışını kontrol eden ve yönlendiren kritik düğümler olarak değerlendirilmelidir. Bu noktalar üzerindeki herhangi bir trafik sıkışıklığı veya yönlendirme değişikliği, şehrin genel ulaşım yapısını doğrudan etkileyebilir.



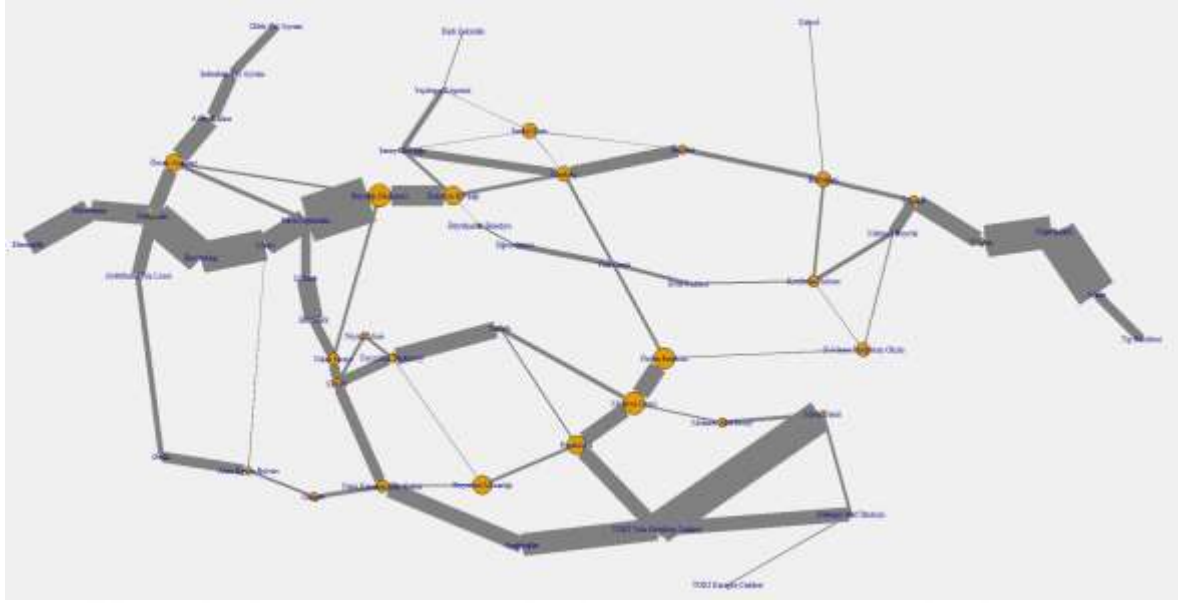
**Şekil 4.8** Betweenness algoritması Temmuz ayı verileri sonuç görseli.

Şekil 4.8’de Betweenness algoritması, kavşakların Temmuz ayı verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların ve kavşaklara bağlı yolların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.



**Şekil 4.9** Betweenness algoritması Ağustos ayı verileri sonuç görseli.

Şekil 4.9’da Betweenness algoritması, kavşakların Ağustos ayı verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların ve kavşaklara bağlı yolların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.



**Şekil 4.10** Betweenness Algoritması iki aylık toplam verilerin sonuç görseli.

Şekil 4.10’da Betweenness algoritması, kavşakların Temmuz ve Ağustos ayları verilerine göre uygulanmıştır. Çizgedeki kavşaklar ağırlıklandırılmış olduğu için, kavşakların ve kavşaklara bağlı yolların boyutları ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir.

#### 4.2 Malatya Vertex Cover Algoritması Sonuçları

Vertex Cover algoritması, bir ağdaki en kritik düğümleri belirleyerek, minimum sayıda kavşak ile maksimum kapsama sağlamayı amaçlar. Bu tez çalışmasında vertex cover (köşe örtüsü) probleminin çözümü için Malatya Vertex Cover algoritması (MVCA) kullanılmıştır. MVCA’nın en önemli aşaması Malatya merkezlilik yöntemidir. Malatya merkezlilik yöntemi vertex cover (köşe örtüsü) üyelerinin belirlenmesinde bir seçim kriteri olarak kullanılmaktadır. Bu sonuçlar, Malatya’da en stratejik kavşakları ortaya koymaktadır, yani trafik akışını kontrol etmek veya düzenlemek için en önemli noktalar bunlardır.

**Çizelge 4.4 :** Malatya vertex cover algoritması göre kapsayıcı kavşaklar

| Sıralama | Kavşak                 |
|----------|------------------------|
| 1        | Mehmet Buyruk          |
| 2        | Abdülkadir Eriş Lisesi |
| 3        | Battalgazi             |
| 4        | Emeksiz                |
| 5        | Sanayi Bent            |
| 6        | Özsan Anayurt          |
| 7        | Şahnahan Yol Ayrımı    |

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 8  | Altın Kayısı Bulvarı       |
| 9  | Fahri Kayahan Saat Kulesi  |
| 10 | TOKİ Yolu Gönültaş Caddesi |
| 11 | Çatyol                     |
| 12 | Beydağı Hastanesi          |
| 13 | Hava Lojmanları            |
| 14 | İstasyon Kavşağı           |
| 15 | Bostanbaşı                 |
| 16 | Öğretmenevi                |
| 17 | Çilesiz                    |
| 18 | Feyzullah Taşkınsoy        |
| 19 | Yimpaş                     |
| 20 | Havalimanı                 |
| 21 | Yeşiltepe Köprüsü          |
| 22 | Hilal Park                 |
| 23 | Sivas Caddesi              |
| 24 | Paşaköşkü                  |
| 25 | Malatya Lisesi             |
| 26 | Malet                      |
| 27 | Miraç Camii                |
| 28 | Mehmet Akif İlkokulu       |

Vertex Cover algoritmasına göre yapılan çalışmada 54 kavşak noktasından bütün şehrin ağını kapsayacak 28 kavşak noktası tespit edilmiştir. 26 kavşak noktası kapsayıcı olmadıkları için sonuç listesinden çıkarılmıştır.

### 4.3 Topluluk Tespiti Algoritmaları Analiz Sonuçları

Tasarlanan ulaşım ağı verisine üç önemli popüler topluluk tespit yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemler, walktrap, optmal modularity ve spinglass yöntemleridir.

#### 4.3.1 Walktrap algoritması sonuçları

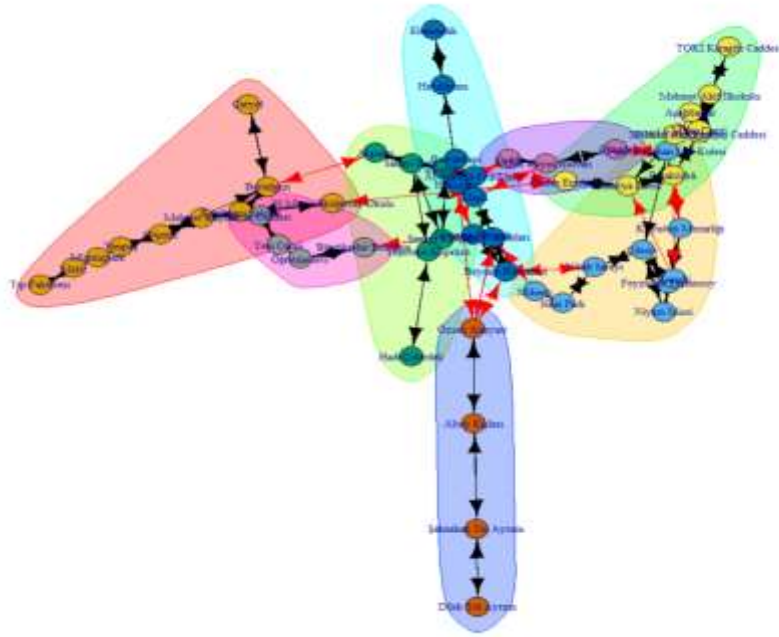
Yürütülen analizlerde, kavşakların benzerliklerini değerlendirmek amacıyla topluluk algılama yöntemlerinden biri olan Walktrap algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, graf teorisi tabanlı bir yöntem olup, düğümler arasındaki benzerlikleri kısa rastgele yürüme yollarını temel alarak gruplar oluşturmaktadır. Malatya'daki 54 kavşağa ait veri seti üzerinde uygulanan algoritma sonucunda, kavşaklar arasında belirli bir hiyerarşi ve benzerlik yapısı ortaya konulmuştur.

Algoritma tarafından oluşturulan görselde, kavşaklar benzerliklerine göre gruplandırılmış ve farklı renklerle temsil edilmiştir. Bu gruplama, trafik akışının yoğun olduğu

kavşaklarla daha az yoğun kavşaklar arasındaki ilişkileri anlamada önemli bir içgörü sağlamaktadır. Ayrıca, elde edilen bu sonuçlar, kavşaklar arası etkileşimlerin daha iyi anlaşılmasına ve trafik düzenlemesi açısından kritik noktaların belirlenmesine olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, Walktrap algoritması ile oluşturulan görselle, kavşaklar arasındaki benzerliklerin görsel olarak ifade edilmesi mümkün olmuş ve trafik ağı üzerindeki yapısal özelliklerin detaylı bir şekilde incelenmesine katkı sağlanmıştır.

Walktrap topluluk tespit yöntemi kullanılarak benzer trafik dinamiklerine sahip kavşaklar Şekil 4.11’de belirlenmiştir. Bu yöntem, kavşaklar arasındaki geçiş yoğunluklarını analiz ederek birbirine benzer özellikler gösteren bölgeleri aynı topluluk içinde gruplandırır. Elde edilen sonuçlar, trafik akışının daha iyi anlaşılmasına ve etkin ulaşım stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.



**Şekil 4.11** Walktrap topluluk tespit yöntemine göre benzer kavşaklar.

#### 4.3.2 Optimal modularity algoritması sonuçları

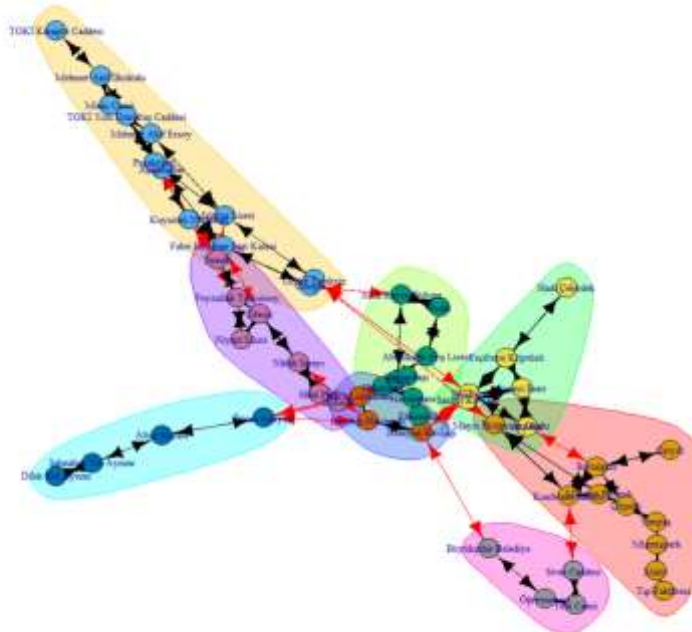
Yürütülen analizlerde, kavşakların benzerliklerini değerlendirmek amacıyla topluluk algılama yöntemlerinden biri olan Optimal Modularity algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, bir grafın modülerlik değerini maksimize ederek topluluk yapılarını belirlemeyi hedefler.

Malatya'daki 54 kavşağa ait veri seti üzerinde uygulanan algoritma sonucunda, kavşaklar arasındaki benzerlikler en uygun topluluk yapıları şeklinde gruplandırılmıştır.

Algoritma tarafından oluşturulan görselde, kavşaklar modülerlik optimizasyonu ile belirlenen gruplara göre ayrılmış ve her grup farklı renklerle temsil edilmiştir. Bu graplama, kavşaklar arasında trafik yoğunluğu, akış dinamikleri ve bağlantı desenlerini analiz etmeye yönelik değerli bilgiler sunmaktadır. Özellikle, trafik ağı üzerinde belirgin şekilde öne çıkan stratejik kavşaklar ve bu kavşakların diğerleriyle olan ilişkileri net bir biçimde görselleştirilmiştir.

Sonuç olarak, Optimal Modularity algoritması ile elde edilen görsel, kavşaklar arasındaki topluluk yapılarının daha sistematik bir şekilde incelenmesini sağlamış ve trafik düzenlemesine yönelik kritik noktaların belirlenmesine katkıda bulunmuştur.

Optimal Modularity topluluk tespit yöntemi kullanılarak benzer trafik özelliklerine sahip kavşaklar Şekil 4.12'de belirlenmiştir. Bu yöntem, ağıın modülerlik değerini maksimize ederek en uygun topluluk yapısını ortaya çıkarır. Böylece, trafik açısından benzer davranış sergileyen kavşaklar gruplandırılarak ulaşım ağının daha verimli analiz edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.12 Optimal topluluk tespit yöntemine göre benzer kavşaklar.

### 4.3.3 Spinglass algoritması sonuçları

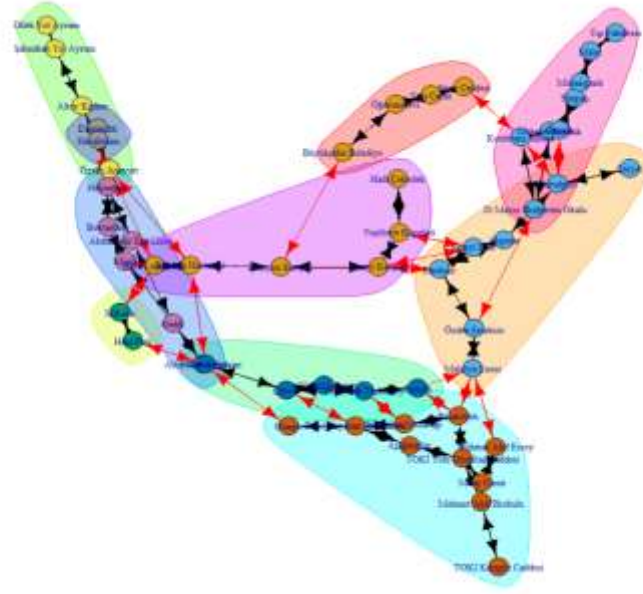
Kavşaklar arasındaki benzerliklerin değerlendirilmesinde, topluluk algılama yöntemlerinden biri olan Spinglass algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, fizik tabanlı bir yaklaşımı temel alarak, bir grafin topluluk yapısını belirler. Spinglass algoritması, düğümler arasında enerji minimizasyonu prensibini uygular ve bu süreçte Ising modelinden ilham alır. Düğümler birer "spin" olarak değerlendirilir ve algoritma, komşu düğümler arasındaki benzerlikleri kullanarak spinler arasında denge durumu sağlamaya çalışır.

Malatya'daki 54 kavşağa ait veri seti üzerinde Spinglass algoritması uygulandığında, kavşaklar arasında enerji minimizasyonuna dayalı bir topluluk yapısı ortaya çıkarılmıştır. Algoritma, kavşaklar arasında yoğun bağlantı bulunan grupları belirleyerek bu grupları görselde farklı renklerle temsil etmiştir. Örneğin, birbirine yakın coğrafi konumda bulunan ve yoğun trafik akışına sahip kavşaklar aynı topluluk içinde gruptandırılmış, bu durum algoritmanın fiziksel benzerliklere dayalı yapıları başarıyla tespit edebildiğini göstermiştir.

Spinglass algoritmasının temel avantajı, topluluk sayısının algoritma tarafından otomatik olarak belirlenmesidir. Bu özellik, önceden belirlenmiş bir parametre gerektirmediği için kavşaklar arasındaki ilişkilerin doğal yapılarını incelemek açısından önemli bir esneklik sunmaktadır.

Sonuç olarak, Spinglass algoritması ile oluşturulan görsel, kavşaklar arasındaki fiziksel ve bağlantısal benzerliklerin görselleştirilmesine olanak sağlamış ve trafik ağı üzerinde stratejik noktaların belirlenmesine katkıda bulunmuştur.

Spinglass topluluk tespit yöntemi kullanılarak benzer trafik özelliklerine sahip kavşaklar Şekil 4.13'te belirlenmiştir. Bu yöntem, istatistiksel fizik prensiplerine dayanarak ağ üzerindeki en güçlü topluluk yapılarını tespit eder. Sonuç olarak, trafik akışına göre benzer davranış sergileyen kavşaklar gruptandırılarak ulaşım ağının yapısal analizi güçlendirilmiştir.



Şekil 4.13 Spinglass topluluk tespit yöntemine göre benzer kavşaklar.

#### 4.4 Bağlantı Tahmini Algoritmaları Analiz Sonuçları

Bağlantı tahmini için iki tane bilinmiş algoritma kullanacağız. Bnlardan birincisi jaccard benzerlik yöntemi diğeri ise cosine benzerlik yönetimi olacak

##### 4.4.1 Jaccard benzerlik yöntemi

Ulaşım ağının iyileştirilmesi için alternatif güzegahların tespit edilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Sunulan çalışmada da jaccard benzerlik yöntemi kullanılarak mevcut araç geçiş profillerine göre alternatif yol güzergahlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çizelge 4.5 incelendiğinde belirli kavşak noktalarının jaccard benzerlik sonuçları paylaşılmıştır. Analizde kullanılan veri seti Temmuz ve Ağustos ayı araç sayım verilerinin toplamlarından oluşmaktadır. Örneğin araç sayım verilerine göre Konferans Salonu kavşak noktası ile Akpınar kavşak noktasının jaccard değeri 0.40 olarak tespit edilmiştir. Yine Konferans Salonu kavşağının Beydağı Hastanesi ile jaccard değeri 0.20, Hava Lojmanları ile 0.33 olarak tespit edilmiştir. Bu değerleri yorumladığımızda Konferans salonu ile Akpınar kavşak noktaları arasında doğrudan bir yol oluşturulma ihtimali %40 civarındır diyebiliriz. Bu sonuç mevcut araç geçişleri arasında Konferans Salonundan geçen araçlar yoğun olarak Akpınar Kavşak noktasından da geçmiştir. Bu nedenle bu iki kavşak noktasını doğrudan bir yol ile birleştirmek ulaşım ağına önemli katkılar sağlayacaktır.

**Çizelge 4.5 : Kavşakların toplam verilerinin Jaccard bağlantı tahminleri**

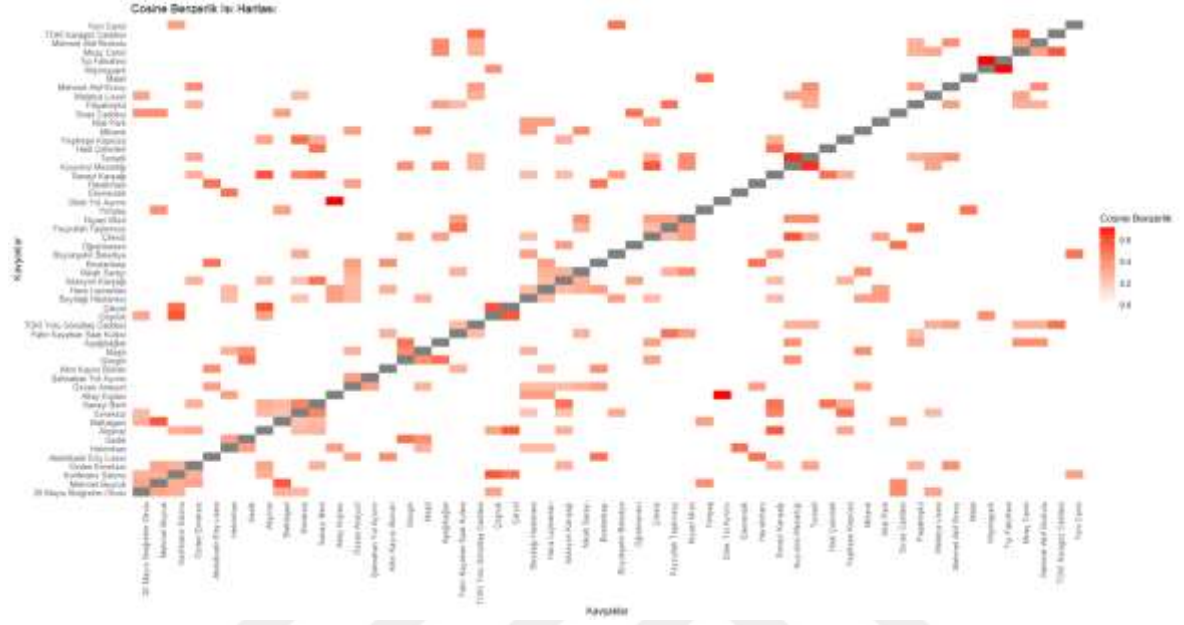
| Kavşak Adı           | Akpınar | Battalgazi | Beydağı Hastanesi | Elemendik | Hava Lojmanları | Hilal Park | Malet | Mehmet Buyruk | Miraç Camii | Niyazi Mısri |
|----------------------|---------|------------|-------------------|-----------|-----------------|------------|-------|---------------|-------------|--------------|
| Altın Kayısı Bulvarı | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.25      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.33         |
| Büyükşehir Belediye  | 0.00    | 0.00       | 0.14              | 0.00      | 0.00            | 0.12       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Çatyol               | 0.00    | 0.00       | 0.16              | 0.00      | 0.00            | 0.33       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Çilesiz              | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.50          | 0.50        | 0.00         |
| Feyzullah Taşkınsoy  | 0.00    | 0.33       | 0.00              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.20  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Hadi Çekirdek        | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.20  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Konferans Salonu     | 0.40    | 0.00       | 0.20              | 0.00      | 0.33            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Mimişpark            | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.25      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.33         |
| Nikah Sarayı         | 0.00    | 0.00       | 0.40              | 0.00      | 0.00            | 0.14       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |



**Çizelge 4.6 : Kavşakların toplam verilerinin Cosine bağlantı tahminleri**

| Kavşak Adı           | Akpınar | Battalgazi | Beydağı Hastanesi | Elemendik | Hava Lojmanları | Hilal Park | Malet | Mehmet Buyruk | Miraç Camii | Niyazi Mısri |
|----------------------|---------|------------|-------------------|-----------|-----------------|------------|-------|---------------|-------------|--------------|
| Altın Kayısı Bulvarı | 0.00    | 0.00       | 0.28              | 0.00      | 0.28            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Büyükşehir Belediye  | 0.00    | 0.00       | 0.35              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Çatyol               | 0.57    | 0.00       | 0.16              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Çilesiz              | 0.00    | 0.00       | 0.25              | 0.00      | 0.00            | 0.35       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.35         |
| Feyzullah Taşkınsoy  | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.35         |
| Hadi Çekirdek        | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Konferans Salonu     | 0.28    | 0.00       | 0.00              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.28          | 0.00        | 0.00         |
| Mimişpark            | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.00      | 0.00            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.00         |
| Nikah Sarayı         | 0.00    | 0.00       | 0.00              | 0.00      | 0.28            | 0.00       | 0.00  | 0.00          | 0.00        | 0.40         |

Şekil 4.15’de tüm kavşakların birbirleri ile cosine değerleri sıcaklık haritası üzerinde gösterilmiştir. Kesişim noktalarının koyu kırmızı olması cosine değerlerinin yüksek olduğunu beyaza yaklaştıkça ise benzerlik değerinin düştüğünü göstermektedir.



Şekil 4.15 Tüm kavşaklara ait Cosine benzerlik sıcaklık haritası.

#### 4.5 Maksimum Akış Algoritmaları Analiz Sonuçları

Oluşturulan çizgede belirlenen 9 farklı güzergahın çift yönlü olarak maksimum araç taşıma kapasitesi tespit edilmiştir. Çizelge 4.7. incelendiğinde 18 farklı konum arasındaki maksimum akış değerlerine yer verilmiştir. Örneğin Temmuz ayı verilerine göre İstasyon Kavşağı ile Yimpaş kavşağı arasında maksimum araç geçişi 13279 olurken Ağustos ayı verilerine göre bu değer 10703 olarak tespit edilmiştir. Güzergahın tersinden bakacak olursak Temmuz ayı verilerine göre Yimpaş kavşağından İstasyon Kavşağı kavşağına giden maksimum araç sayısı 4459 olarak tespit edilmiştir. Ağustos ayı verilerine göre bu değer 3542 olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde maksimum akış değerlerinin farklı aylarda azalıp artabileceği görülmektedir. Bunlar çeşitli fiziksel etmenlere bağlı olabileceği gibi insanların alternatif yolları tercih etmesiyle de değişkenlik gösterebilmektedir.

**Çizelge 4.7 : Kavşakların iki aylık verileri karşılaştırması**

| Kavşak-1                  | Kavşak-2                  | Temmuz | Ağustos |
|---------------------------|---------------------------|--------|---------|
| İstasyon Kavşağı          | Yimpaş                    | 13279  | 10703   |
| Yimpaş                    | İstasyon Kavşağı          | 4459   | 3542    |
| Güngör                    | Miraç Camii               | 7513   | 8437    |
| Miraç Camii               | Güngör                    | 11489  | 12187   |
| Gedik                     | İstasyon Kavşağı          | 15167  | 17163   |
| İstasyon Kavşağı          | Gedik                     | 8488   | 11748   |
| Elemendik                 | Tıp Fakültesi             | 13279  | 10703   |
| Tıp Fakültesi             | Elemendik                 | 4459   | 3542    |
| Maşti                     | Fahri Kayahan Saat Kulesi | 23607  | 24351   |
| Fahri Kayahan Saat Kulesi | Maşti                     | 27024  | 28170   |
| Gedik                     | Yimpaş                    | 13279  | 10703   |
| Yimpaş                    | Gedik                     | 4459   | 3542    |
| Altın Kayısı Bulvarı      | Hadi Çekirdek             | 2350   | 2124    |
| Hadi Çekirdek             | Altın Kayısı Bulvarı      | 1140   | 996     |
| Havalimanı                | Aşağıbağlar               | 23607  | 24351   |
| Aşağıbağlar               | Havalimanı                | 27024  | 28170   |
| Dilek Yol Ayrımı          | Çöşnük                    | 13279  | 10703   |
| Çöşnük                    | Dilek Yol Ayrımı          | 4459   | 3542    |

Çizelge 4.7 genel olarak incelendiğinde değerler arasında bir tutarlılık görülmektedir. Bu sayede ulaşım ağı çizgesi üzerinde aylık veya mevsimlik olarak mevcut ulaşım ağının kaldıracağı maksimum araç kapasiteleri hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Malatya kenti ulaşım ağı üzerinde gerçek zamanlı araç geçiş verileri kullanılarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bluetooth cihazlarından toplanan veriler, kavşaklar arasındaki trafik akışını modellemek ve ulaşım ağının yapısını anlamak için kullanılmıştır. Analizler, merkezlilik ölçütleri, topluluk tespiti, bağlantı tahmini ve maksimum akış algoritmaları gibi çeşitli grafik tabanlı yöntemlerle desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Malatya'nın trafik yönetimi ve ulaşım planlaması açısından önemli içgörüler sunmaktadır.

### 5.1 Merkezlilik Analizleri

Merkezlilik analizleri, kavşakların trafik ağındaki önemini belirlemek için PageRank, Closeness ve Betweenness algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

PageRank analizi, Yimpaş, Çöşnük ve Hekimhan kavşaklarının trafik akışında kilit rol oynadığını göstermiştir. Bu kavşaklar, yüksek merkeziyet değerleriyle trafik yoğunluğunun en fazla olduğu noktalar olarak öne çıkmıştır.

Closeness analizi, Beydağı Hastanesi, Nikah Sarayı ve Özsan Anayurt kavşaklarının diğer kavşaklara en kısa mesafelerle bağlandığını ve şehrin erişilebilirlik açısından en merkezi noktaları olduğunu ortaya koymuştur.

Betweenness analizi ise Malatya Lisesi, Beydağı Hastanesi ve Özden Emeksiz kavşaklarının trafik akışını yönlendiren kritik geçiş noktaları olduğunu göstermiştir. Bu kavşaklar, en kısa yollar üzerinde sıklıkla yer alarak trafik akışının kontrol edilmesinde stratejik bir rol oynamaktadır.

Bu sonuçlar, trafik sıkışıklığını azaltmak ve ulaşım ağının verimliliğini artırmak için bu kavşaklarda altyapı iyileştirmeleri, sinyalizasyon optimizasyonları ve alternatif yönlendirme çözümlerinin uygulanması gerektiğini göstermektedir.

### 5.2 Topluluk Tespiti Analizleri

Topluluk tespiti analizleri, kavşaklar arasındaki benzerlikleri ve gruplaşmaları belirlemek için Walktrap, Optimal Modularity ve Spinglass algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Walktrap algoritması, kavşakların coğrafi yakınlık ve trafik yoğunluğu temelinde gruplandığını göstermiştir. Bu gruplama, trafik akışının yoğun olduğu bölgelerin belirlenmesine yardımcı olmuştur.

Optimal Modularity analizi, kavşaklar arasındaki bağlantı yoğunluğunu dikkate alarak en uygun topluluk yapılarını ortaya çıkarmıştır. Bu analiz, trafik ağındaki stratejik noktaların belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Spinglass algoritması, fiziksel benzerliklere dayalı olarak kavşakların gruplandığını göstermiş ve bu grupların trafik akışı üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur.

Bu analizler, trafik ağındaki topluluk yapılarının anlaşılmasına ve trafik yönetimi için stratejik kararlar alınmasına katkıda bulunmuştur.

### **5.3 Bağlantı Tahmini ve Maksimum Akış Analizleri**

Bağlantı tahmini analizleri, Jaccard benzerlik katsayısı kullanılarak kavşaklar arasındaki olası yeni bağlantıları belirlemek için kullanılmıştır. Örneğin, Konferans Salonu ve Akpınar kavşakları arasında yüksek bir Jaccard benzerlik değeri (%40) tespit edilmiştir. Bu, bu iki kavşak arasında doğrudan bir yol oluşturulmasının trafik akışını önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermektedir.

Maksimum akış analizleri ise belirli güzergâhlar üzerindeki trafik kapasitesini ölçmek için kullanılmıştır. Örneğin, İstasyon Kavşağı ile Yimpaş kavşağı arasındaki maksimum akış değerleri, Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 13.279 ve 10.703 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, trafik akışının mevsimsel değişikliklere bağlı olarak değişebileceğini ve bu tür değişikliklerin ulaşım planlamasında dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

### **5.4 Pratik Uygulamalar ve Öneriler**

Bu çalışmanın sonuçları, Malatya'nın ulaşım ağının iyileştirilmesi için aşağıdaki pratik önerileri sunmaktadır:

Kritik Kavşaklarda Altyapı İyileştirmeleri: PageRank ve Betweenness analizleriyle belirlenen kritik kavşaklarda (örneğin, Yimpaş, Beydağı Hastanesi, Malatya Lisesi) altyapı iyileştirmeleri yapılmalı ve sinyalizasyon sistemleri optimize edilmelidir.

Alternatif Güzergâhların Oluşturulması: Bağlantı tahmini analizleri, belirli kavşaklar arasında yeni yolların oluşturulmasının trafik akışını rahatlatabileceğini göstermektedir. Özellikle Konferans Salonu ve Akpınar kavşakları arasında doğrudan bir yol oluşturulması önerilmektedir.

Mevsimsel Trafik Yönetimi: Maksimum akış analizleri, trafik akışının mevsimsel olarak değişebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, trafik yönetimi stratejileri mevsimsel değişikliklere uygun olarak planlanmalıdır.

Topluluk Tabanlı Trafik Yönetimi: Topluluk tespiti analizleri, trafik yoğunluğunun belirli bölgelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Bu bölgelerde trafik yönetimi stratejileri, topluluk yapıları dikkate alınarak geliştirilmelidir.

## **5.5 Gelecekteki Çalışmalar**

Bu çalışma, Malatya'nın ulaşım ağı üzerinde önemli bulgular sunmakla birlikte, gelecekte yapılabilecek çalışmalar için de bir temel oluşturmaktadır. Önerilen gelecek çalışmalar şunları içerebilir:

Gerçek Zamanlı Trafik Yönetimi Sistemleri: Bluetooth cihazlarından toplanan verilerin gerçek zamanlı olarak işlenerek trafik yönetim sistemlerine entegre edilmesi.

Makine Öğrenimi Modelleri: Trafik akışını tahmin etmek ve yönetmek için makine öğrenimi modellerinin kullanılması.

Diğer Şehirlerde Uygulanabilirlik: Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin diğer şehirlerin ulaşım ağlarına uygulanarak karşılaştırmalı analizler yapılması.

Sonuç olarak, bu çalışma, Malatya'nın ulaşım ağının daha iyi anlaşılmasına ve trafik yönetimi için stratejik kararlar alınmasına önemli katkılar sağlamıştır. Elde edilen bulgular, benzer şehirlerin ulaşım planlaması için de rehber niteliği taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Öztemiz, F. and Karci, A.**, "Topluluk Tespiti Yöntemi ile Ulaşım Ağında Verimli Yeşil Dalga Koridorlarının Belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 27(1):35–45, 2024, doi: 10.2339/politeknik.1074962.
- [2] **Öztemiz, F. and Karci, A.**, "Malatya İli ulaşım ağı kavşak noktalarının merkezlilik analizi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(1):511-528, 2021, <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.834255>.
- [3] **Kazemzadeh, F., Safaei, A. A., Mirzarezaee, M., Afsharian, S., and Kosarirad, H.**, "Determination of influential nodes based on the Communities' structure to maximize influence in social networks", *Neurocomputing*, 534:18-28, 2023, ISSN 0925-2312.
- [4] **Tang, B. and Hu, Y.**, "Frequent Congestion Detection Model Based on Critical Intersection Identification", *Transportation Research Record*, 2677(12):371-385, 2023, <https://doi.org/10.1177/03611981231168131>.
- [5] **Kuzubaş, T. U., Ömercikoğlu, I., and Saltoğlu, B.**, "Network centrality measures and systemic risk: An application to the Turkish financial crisis", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 405:203-215, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.03.006>.
- [6] **Piraveenan, M. and Saripada, N. B.**, "Transportation Centrality: Quantifying the Relative Importance of Nodes in Transportation Networks Based on Traffic Modeling", *IEEE Access*, 11:142214-142234, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3339121.
- [7] **Li, Z., Tang, J., Zhao, C., and Gao, F.**, "Improved centrality measure based on the adapted PageRank algorithm for urban transportation multiplex networks", *Chaos, Solitons & Fractals*, 167:112998, 2023, ISSN 0960-0779.
- [8] **Chen, M., Mangalathu, S., and Jeon, J.-S.**, "Betweenness Centrality-Based seismic risk management for bridge transportation networks", *Engineering Structures*, 289:116301, 2023, ISSN 0141-0296.
- [9] **Stamos, I.**, "Transportation Networks in the Face of Climate Change Adaptation: A Review of Centrality Measures", *Future Transp.*, 3:878-900, 2023.
- [10] Xing, W., & Ghorbani, A. (2004, May). Weighted pagerank algorithm. In *Proceedings. Second Annual Conference on Communication Networks and Services Research*, 2004. (pp. 305-314). IEEE.
- [11] **Zhang, J., & Luo, Y.** (2017, March). Degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality in social network. In *2017 2nd international conference on modelling, simulation and applied mathematics (MSAM2017)* (pp. 300-303). Atlantis press.
- [12] **Karci, A., Yakut, S., & Öztemiz, F.** (2022). A New Approach Based on Centrality Value in Solving the Minimum Vertex Cover Problem: Malatya Centrality Algorithm. *Computer Science*, Vol:7(Issue:2), 81-88. <https://doi.org/10.53070/bbd.1195501>
- [13] **F. Öztemiz and S. Yakut**, "An Effective Method for Determining Node Dominance Values: Malatya Centrality Algorithm," 2024 32nd Signal Processing and

Communications Applications Conference (SIU), Mersin, Türkiye, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIU61531.2024.10601155.

- [14] **Öztemiz, F., & Karci, A.** (2021). Centrality analysis of Malatya City transportation network intersection points. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(1), 511-528.
- [15] **Yakut, S., Öztemiz, F., & Karci, A.** (2023). A new robust approach to solve minimum vertex cover problem: Malatya vertex-cover algorithm. *The Journal of Supercomputing*, 79(17), 19746-19769.
- [16] **Sonakalan, C., & Öztemiz, F.** Kablosuz Sensör Ağlarının Malatya Minimum Vertex Cover Yöntemiyle Konumlandırılması Positioning of Wireless Sensor Networks with Malatya Minimum Vertex Cover Method.
- [17] **Wu, X., Cao, W., Wang, J., Zhang, Y., Yang, W., & Liu, Y.** (2022). A spatial interaction incorporated betweenness centrality measure. *Plos one*, 17(5), e0268203.
- [18] **Bonchi, F., De Francisci Morales, G., and Riondato, M.**, "Centrality Measures on Big Graphs: Exact, Approximated, and Distributed Algorithms", In *Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web (WWW '16 Companion)*, 1017–1020, 2016, <https://doi.org/10.1145/2872518.2891063>.
- [19] **Huang, L., Yang, Y., Gao, H., Zhao, X., and Du, Z.**, "Comparing Community Detection Algorithms in Transport Networks via Points of Interest", *IEEE Access*, 6:29729-29738, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2841321.
- [20] **Oubaalla, W. and Benhlila, L.**, "An Overview of Community Detection Methods in Transportation Networks", In *Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA'18)*, Association for Computing Machinery, Article 46:1–6, 2018.
- [21] **Majima, T., Takadama, K., Watanabe, D., and Katuhara, M.**, "Application of community detection method to generating public transport network", In *Proceedings of the 8th International Conference on Bioinspired Information and Communications Technologies (BICT '14)*, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), Brussels, BEL, 243–250, 2014.
- [22] **Xie, F., Ma, R., Cao, Y., Ren, C., and Zhou, X.**, "Analyzing a Multilayer Comprehensive Passenger Transport Network Through Overlapping Community Detection", *Transportation Research Record*, 0(0), 2024, <https://doi.org/10.1177/03611981241245683>.
- [23] **De Sousa, F. B., & Zhao, L.** (2014, October). Evaluating and comparing the igraph community detection algorithms. In *2014 Brazilian Conference on Intelligent Systems* (pp. 408-413). IEEE.
- [24] **Pospíchal, J., & Dirgová Luptáková, I.** (2022, April). Comparison of K-means-Based Network Partition Algorithms with Different Initial Centers Seeding. In *Computer Science On-line Conference* (pp. 337-346). Cham: Springer International Publishing.

- [25] **Azadani, M. N., & Boukerche, A.** (2021). Driving behavior analysis guidelines for intelligent transportation systems. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 23(7), 6027-6045.
- [26] **Eaton, E., & Mansbach, R.** (2012). A spin-glass model for semi-supervised community detection. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 26, No. 1, pp. 900-906).
- [27] **Brusco, M., Steinley, D., & Watts, A. L.** (2022). A comparison of spectral clustering and the walktrap algorithm for community detection in network psychometrics. *Psychological Methods*.
- [28] **Orman, G. K., & Labatut, V.** (2009). A comparison of community detection algorithms on artificial networks. In *Discovery Science: 12th International Conference, DS 2009, Porto, Portugal, October 3-5, 2009* 12 (pp. 242-256). Springer Berlin Heidelberg.
- [29] **Gates, K. M., Henry, T., Steinley, D., & Fair, D. A.** (2016). A Monte Carlo evaluation of weighted community detection algorithms. *Frontiers in neuroinformatics*, 10, 45.
- [30] **Hoffman, M., Steinley, D., Gates, K. M., Prinstein, M. J., & Brusco, M. J.** (2018). Detecting clusters/communities in social networks. *Multivariate behavioral research*, 53(1), 57-73.
- [31] **Pons, P. and Latapy, M.**, "Computing communities in large networks using random walks", *Lecture Notes in Computer Science*, 3733:284-293, 2005.
- [32] **Gu, S., Li, K., Liang, Y., & Yan, D.** (2021). A transportation network evolution model based on link prediction. *International Journal of Modern Physics B*, 35(31), 2150316.
- [33] **Srinivas, V., Mitra, P., Srinivas, V., & Mitra, P.** (2016). Applications of link prediction. *Link Prediction in Social Networks: Role of Power Law Distribution*, 57-61.
- [34] **Ma, Y., Liang, X., Huang, J., & Cheng, G.** (2017, November). Intercity transportation construction based on link prediction. In *2017 IEEE 29th international conference on tools with artificial intelligence (ICTAI)* (pp. 1135-1138). IEEE.
- [35] **Ekanayake, E. M. U. S. B., Daundasekara, W. B., & Perera, S. P. C.** (2022). New Approach to Obtain the Maximum Flow in a Network and Optimal Solution for the Transportation Problems. *Modern Applied Science*, 16(1), 30.
- [36] **Marpaung, F., Arnita, A., & Sari, N.** (2023). Maximal Flow of Transportation Network in Medan City Using Ford-Fulkerson Algorithm. *International Journal of Science, Technology & Management*, 4(1), 100-106.
- [37] **Nahar, A., Sikarwar, H., & Das, D.** (2020, June). Csbr: A cosine similarity based selective broadcast routing protocol for vehicular ad-hoc networks. In *2020 IFIP networking conference (networking)* (pp. 404-412). IEEE.
- [38] **Polychronopoulou, A., Zhou, F., & Obradovic, Z.** (2021, November). Cosine similarity for multiplex network summarization. In *Proceedings of the 2021 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining* (pp. 56-63).

- [39] **Akter, S., Patwary, J. A., Akter, S., & Nahar, L.** An Efficient Travel Time Prediction Method using Cosine Similarity.
- [40] **Nyein, S. S.** (2011, March). Mining contents in Web page using cosine similarity. In 2011 3rd International Conference on Computer Research and Development (Vol. 2, pp. 472-475). IEEE.
- [41] **Dorosti, A., Alesheikh, A. A., & Sharif, M.** (2024). Measuring Trajectory Similarity Based on the Spatio-Temporal Properties of Moving Objects in Road Networks. *Information*, 15(1), 51.
- [42] **Öztemiz, F.** (2023). İki Parçalı Eşleştirme ile Maksimum Akış. *Computer Science*, 8(2), 102-109.
- [43] **Newman, M. E. J.**, "Modularity and community structure in networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(23):8577-8582, 2006.
- [44] **Page, L., Brin, S., Motwani, R., and Winograd, T.**, "The PageRank citation ranking: Bringing order to the web", *Stanford InfoLab*, 1999.
- [45] **Freeman, L. C.**, "A set of measures of centrality based on betweenness", *Sociometry*, 40(1):35-41, 1977.
- [46] **Bavelas, A.**, "Communication patterns in task-oriented groups", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6):725-730, 1950.
- [47] **Reichardt, J., & Bornholdt, S.** (2006). Statistical mechanics of community detection. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 74(1), 016110.
- [48] **Wu, H., Song, C., Ge, Y., & Ge, T.** (2022). Link prediction on complex networks: an experimental survey. *Data science and engineering*, 7(3), 253-278.
- [49] **Haghani, S., & Keyvanpour, M. R.** (2019). A systemic analysis of link prediction in social network. *Artificial Intelligence Review*, 52, 1961-1995.
- [50] **Bulut, M., & Özcan, E.** (2021). Optimization of electricity transmission by Ford–Fulkerson algorithm. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 28, 100544.
- [51] **Akgün, İ., Tansel, B. Ç., & Wood, R. K.** (2011). The multi-terminal maximum-flow network-interdiction problem. *European Journal of Operational Research*, 211(2), 241-251.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Akın ÇAĞLAR

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Fırat Üniversite, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2014 - 2014 Accriss Bilişim firmasında çalıştı.
- 2014 – Halen Malatya Büyükşehir Belediyesinde çalışıyor.

### YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Çağlar, A., Öztemiz, F., & Yakut, S. (2024).** Link Prediction and Maximum Flow in Transportation Network. Computer Science, 9(Issue: 2), 169-177. <https://doi.org/10.53070/bbd.1593501>
- **Çağlar, A., Öztemiz, F. (2024, October).** Analysis of Traffic Flow Profiles in a Transportation Network Using Graph Theory Methods. In 2014 8th International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) (pp. 1-6). IEEE.