



Centrality analysis of Malatya City transportation network intersection points

Furkan Öztemiz*^{ID}, Ali Karcı^{ID}

Computer Engineering Department, Inonu University, Malatya, 44200, Turkey

Highlights:

- Modeling intersection points in the transport network
- Application of Centrality algorithms to the transportation network
- Determination of positional advantages of intersection points

Keywords:

- Graph Theory
- Centrality Algorithms
- Transport Intersection Network
- Intersection Dominance

Article Info:

Research Article
Received: 01.12.2020
Accepted: 28.06.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.834255

Correspondence:

Author: Furkan Öztemiz
e-mail:
furkanoztemiz@gmail.com
phone: +9 0422 377 4906

Graphical/Tabular Abstract

The graph structure of the intersection points on the street and avenue in Malatya Province was given in Figure A. While the width of the nodes forming the intersections refers to the nodes with high centrality value, the length of the roads between the intersections is expressed by the edge thicknesses.

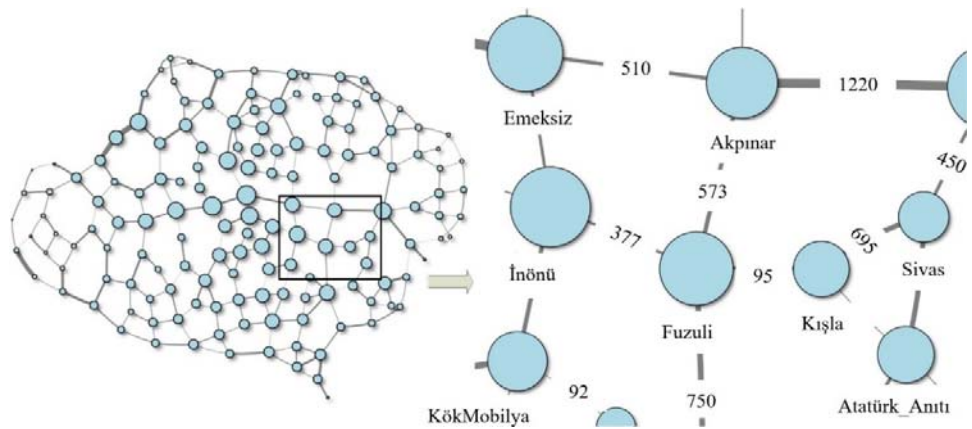


Figure A. Centrality graph according to the locations of the intersection points in Malatya Province

Purpose: This study aims to determine the efficiency of intersection points in Malatya City within the transportation network according to their geographical locations. The determined intersection points are comprised of streets and boulevards containing more than 90 percent of the city population determined using the land use plan. The centrality values of the intersections will be calculated with four different centrality algorithms and the advantages and disadvantages of these algorithms will be determined.

Theory and Methods:

Real distance lengths are used for the roads connecting the intersection points modeled on the graph. (as meter) Pagerank, Eigenvector, Closeness, Betweenness centrality algorithms were applied in the weighted graph. Results were combined with a homogeneous approach by normalized.

Results:

As a result of the study, centrality values indicating the importance of the intersection points on the main arteries used by more than 90 percent of the population were determined. The unique aspects of four different algorithms were examined in detail and a more successful centrality value was achieved by applying the properties of all of them equally with a unifying approach.

Conclusion:

The results obtained revealed the importance of intersection points according to their location in the city. In this way, it gives important ideas for the investment and maintenance operations to be made at the intersections. In addition, the findings of the study can be used as decision support systems for road network management, planning, and urban traffic construction optimizations.



Malatya İli ulaşım ağı kavşak noktalarının merkezlilik analizi

Furkan Öztemiz*^{ID}, Ali Karacı^{ID}

İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44200, Türkiye, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Ulaşım ağına kavşak noktalarının modellenmesi
- Merkezlilik algoritmalarının ulaşım ağına uygulanması
- Kavşak noktalarının konumsal avantajlarının belirlenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.12.2020

Kabul: 28.06.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.834255

Anahtar Kelimeler

Çizge teorisi,
merkezlilik algoritmaları,
kavşak baskınlık,
ulaşım kavşak ağı

ÖZ

Ulaşım ağlarının en kilit bölgeleri yolların kesişim noktalarını oluşturan kavşaklardır. Kavşakların konumu ve bağlandığı yollar trafik akışını etkileyen en önemli etmenlerden birisidir. Bu çalışmada Malatya ili kent merkezi içerisinde bulunan caddeler ve bulvarlar üzerinde bulunan kavşak noktalarının ulaşım sistemi içerisindeki önemi belirlenecektir. Kentin imar planına göre nüfus bilgileri hesaplanmıştır. Nüfusun yüzde 90'ından fazlasına hizmet veren kavşak noktaları seçilmiştir. Malatya kent merkezi için yapılan graf modellemesi 151 kavşak noktası ve bu kavşak noktalarını birleştiren 258 yoldan oluşmaktadır. Graf modellemesine yolların gerçek mesafe uzunlukları metre cinsinden dâhil edilmiştir. Oluşturulan ağırlıklı graf üzerinde sayfa değeri, özvektör, yakınlık, arasındalık merkezlilik algoritmaları uygulanmıştır. Her algoritmanın kendisine ait özellikleri ve sonuçları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu 4 algoritmanın kendine özgü özelliklerinin tamamını barındıran homojen birleştirici bir yaklaşım uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Bütün algoritmaların sonuçlarına göre kavşak noktalarının merkezlilik değerleri ve en etkili kavşak noktası graf üzerinde gösterilmiştir. Bütün analiz ve görsel işlemleri için R programlama dili kullanılmıştır.

Centrality analysis of Malatya City transportation network intersection points

H I G H L I G H T S

- Modeling intersection points in the transport network
- Application of Centrality algorithms to the transportation network
- Determination of positional advantages of intersection points

Article Info

Research Article

Received: 01.12.2020

Accepted: 28.06.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.834255

Keywords:

Graph theory,
centrality algorithm,
intersection dominance,
transportation intersection
network

ABSTRACT

The most key areas of transportation networks are the intersections that form the intersection points of the roads. The location of the intersections and the roads that they connect to are one of the most important factors affecting the traffic flow. In this study, the importance of the intersection points on the streets and boulevards in the downtown of Malatya province in the transportation system will be determined. Population information has been calculated according to the city's land use plan. Intersection serving more than 90 percent of the population have been selected. Graph modeling made for Malatya downtown consists of 151 intersection points and 258 roads connecting these intersection points. The actual distance lengths of the roads are included in the graph modeling in meters. pagerank, eigenvector, closeness and betweenness centrality algorithms were applied on the weighted graph created. The properties and results of each algorithm are examined in detail. A homogeneous combining approach that contains all the unique features of these 4 algorithms has been applied and successful results have been obtained. The centrality values of the intersection points and the most effective intersection point are shown on the graph according to the results of all algorithms. R programming language was used for all analysis and visual operations.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kentlerdeki ulaşım sistemlerinin en önemli yapısı yolların kesişim bölgelerini oluşturan kavşaklardır. Bu durum kavşak noktalarının konumsal durumunun önemini artırmaktadır. Kavşaklar farklı yollar arasındaki geçişleri sağlayan ve trafiğin yönlendirildiği bağlantı noktalarıdır [1]. Bir kavşak kendisine bağlanan birçok kavşak noktasına trafiği aktarabilir veya komşu kavşak noktalarından gelen trafik yüküne maruz kalabilir. Bu çalışmada Malatya ili kent merkezinde bulunan ve nüfusun yüzde 90'ından fazlasına hizmet veren cadde ve bulvarlar üzerinde bulunan kavşak noktalarının baskınlık değerleri üzerine bir analiz yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmasında kavşak noktaları konumlarına ve aralarındaki mesafelerine göre graf modeline dönüştürülmüştür. Tasarlanan ağırlıklı graf ta düğümler kavşak noktalarını ifade ederken, kenarlar ise kavşak noktaları arasındaki mesafeyi belirtmektedir. Oluşturulan ulaşım ağına Pagerank, Eigenvector centrality, Closeness Centrality, Betweenness Centrality algoritmaları uygulanmıştır. Algoritmalara ait sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Her algoritmanın kendine özgü yaklaşımları vardır. Kısaca ifade etmek gerekirse kavşak noktalarının baskınlık değerinin yüksek olması Pagerank algoritmasında komşu kavşak noktalarından gelen bağlantı sayısının yüksek olması [2], Closeness algoritmasında kavşakların birbirlerine olan uzaklıklarının az olması [3], Betweenness algoritması kavşak noktalarının ulaşım ağının arasındalık yani merkeze yakın olması [3], ve Eigenvector ise kendisine bağlı olan kavşak noktalarının etkisinin yüksek olması ile alakalıdır [4]. Her algoritmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde kendine özgü yaklaşımları ışığında başarılı sonuçlar alınmıştır. 4 algoritmaya ait mantığın birleştirilmesi ile ulaşım ağının merkezinde, birçok kavşak noktası ile yakın mesafe bağlantısı olan ve çok sayıda kavşak noktası ile bağlantısı bulunan etkili-önemli kavşak noktalarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Her algoritma için en etkili ilk 30 kavşak noktasına ait değerler tablolarda belirtilirken, genel ulaşım ağı içerisinde en etkin olan kavşak noktasının konumu graf haritası üzerinde verilmiştir. Ulaşım ağlarında centrality algoritmaları ağ üzerinde tanımlanan nesnelere ne kadar etkin veya baskın olduğunun tespitinde kullanılmaktadır [5].

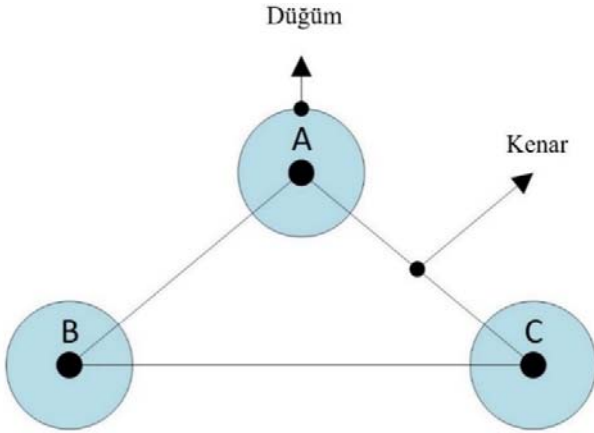
Literatürde Ulaşım sistemleri için yapılmış çalışmalardan bazıları; Çin'in hava yolu taşımacılığının ağ yapısını ve düğümlerin merkezlilik değerlerini keşfetmek için yapılan çalışmada karmaşık bir ağ yaklaşımı uygulanmıştır. Merkezlilik (Centrality) metrikleri için degree, betweenness ve closeness yöntemleri kullanılmıştır. Genel ağ yapısı için düğümlerin derece dağılımları, ortalama yol uzunluğu ve kümeleme katsayısını içermektedir. Kullanılan üç centrality indeksinin şehirlerin sosyo-ekonomik göstergeleriyle ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun küçük ve bağlantısı az olan havalimanlarının en iyi centrality değerine sahip büyük şehirlere doğrudan bağlı olduğunu ifade etmişlerdir [6]. Stockholm şehrindeki arazi kullanım türleri ile caddelere ait centrality değerleri arasındaki ilişkinin keşfi üzerine yapılan

çalışmada kentsel cadde ağı üzerinde closeness, betweenness ve straightness centrality değerleri hesaplanmıştır. Her bir merkezilik (centrality) ve arazi kullanım yoğunluğu haritasının istatistiksel ve mekânsal dağılımını hesapladıktan sonra her sokak merkezlilik yoğunluğuna arazi kullanım tipi ile büyük ölçüde ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçların insan faaliyetlerini yansıtan ve dolayısı ile kentsel yapıyı tanımlamak için önemli bir gösterge olduğu ifade edilmiştir [7]. Ağırlıklı bir kentsel ulaşım ağında önemli düğümlerin bulunması için gerçekleştirilen çalışmada betweenness merkezlilik yaklaşımı uygulanmıştır. Çalışmada trafik akışını, özelliklerini birleştiren ve ağırlıklandırılmış betweenness merkezlilik temelli bir anahtar düğüm tanımlama algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmanın anahtar düğümleri bulmada daha kısa sürede ve daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir [8]. Sosyal ağ analiz yöntemleri kullanılarak ulaşım ağı üzerindeki en kritik kavşak noktalarını belirlemek için gerçekleştirilen çalışmada Louisiana eyaletindeki trafik ağlarını araştırmak ve analiz etmek için 3 farklı senaryo çalışılmıştır. Çalışmada bonacich power, eigenvector ve betweenness centrality algoritmaları her senaryo için ayrı ayrı uygulanmış ve karşılaştırmalarına yer verilmiştir [9]. Louisiana eyaletine bağlı Baton Rouge şehrinde arazi kullanım yoğunluğu ve cadde merkezliliği arasındaki ilişkinin incelenmesi için yapılan çalışmada yol ağı üzerinde closeness, betweenness, straightness centrality algoritmaları uygulanmıştır. Arazi kullanım yoğunlukları için ilgili bölgelerin nüfus ve istihdam verileri belirlenerek sırası ile birleştirilmiştir. Yapılan analiz neticesinde nüfus ve istihdam yoğunluklarının yüksek olduğu bölgelerde cadde centrality değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum cadde centrality değerinin kentteki konum avantajını gösterdiğini ve şehir içi arazi kullanım yoğunluğunun şekillendirilmesinde önemli bir rolü olduğu ifade edilmiştir [10]. Bologna şehrinde cadde merkezliliği ile ticari ve hizmet faaliyetlerinin yoğunlukları arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacı ile yapılan çalışmada closeness, betweenness ve straightness algoritmaları kullanılarak çoklu merkezlilik değerlendirme modeli oluşturulmuştur. Sonuçlar Bologna'daki perakende ve hizmet faaliyetlerinin daha yüksek centrality değerlerine sahip alanlarda yoğunlaşma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar neticesinde merkezliliğin kentsel yapı ve arazi kullanımının şekillenmesinde önemli bir rol oynadığını doğrulamışlardır [11]. Dünya çapındaki 28 metro sisteminin ağ yapısı üzerinde betweenness centrality yönteminin uygulandığı çalışmada her istasyona ait betweenness değerleri incelenerek aşırı kalabalık istasyondan gelen yolcu baskısını azaltmak için yolcuların yeniden dağıtılabileceği istasyonun tespiti için öneriler sunulmuştur [12]. Guangzhou şehrinin 2014 yılı itibari ile ulaşım verileri kullanılarak 19.150 düğümlü otobüs durak ağı oluşturularak ağ üzerinde degree, betweenness, closeness centrality yöntemleri uygulanmıştır. Bu sonuçlar ışığında ulaşım ağı merkez noktalarını, kentin önemli bölgelerini ve başlıca transfer noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır [13]. Bu çalışmayı özgün kılan nedenlerden bir kaçını sıralayacak olursak, Güncel imar verileri ile nüfus bilgileri kullanılarak kentte yaşayan

insanların kullandıkları ana arter, cadde ve bulvarların belirlenerek graf modeli oluşturulmuştur. Modeldeki kavşak noktalarının birbirleri arasındaki mesafeleri metre cinsinden hesaplanarak ulaşım ağı ağırlıklandırılmış grafa dönüştürülmüştür. Oluşturulan graf yapısına 4 popüler centrality algoritması uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. 4 Algoritmaya ait mantıklar birleştirilerek birden fazla değerlendirme mekanizması ile kavşaklara ait merkezlik değerleri hesaplanmıştır. Çalışma R programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. R programlama dili paketlerinden igraph kütüphanesi analiz işlemleri için kullanılırken visNetwork ve networkD3 kütüphaneleri görselleştirme işlemleri için kullanılmıştır.

2. ÇİZGE TEORİSİ (GRAPH THEORY)

Ağ yapılarının modellenmesinde oldukça popüler olan çizge teorisi, kişi ve nesnel arasındaki ilişkilerin tespit edilmesinde önemli başarılar sağlamaktadır. Sosyal ağlar, ulaşım ağları, bilgisayar ağları, fabrika üretim hatları, coğrafi çalışmalar vb. birçok alanda kolaylıkla uygulanabilir yapıdadır [14]. Temel yapısı düğüm ve kenar olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.



Şekil 1. Genel Çizge Yapısı (General Graph Structure)

Şekil 1'de örnek bir çizge yapısı verilmiştir. Çizge literatürde Graph olarak isimlendirilmiştir. G ile ifade edilen Çizge, $G = (D, K)$ biçiminde ifade edilmektedir. D nesnelere veya

bireylerin simgelendiği düğüm kümelerini ifade ederken K ifadesi düğümler arasındaki bağlantıları sağlayan kenar kümesidir [15]. Çizgeler bağlantı yönlerine ve bağlantının şiddetine göre ifade edilebilirler.

2.1. Yönlerine Göre Çizgeler (Graphs According To Directions)

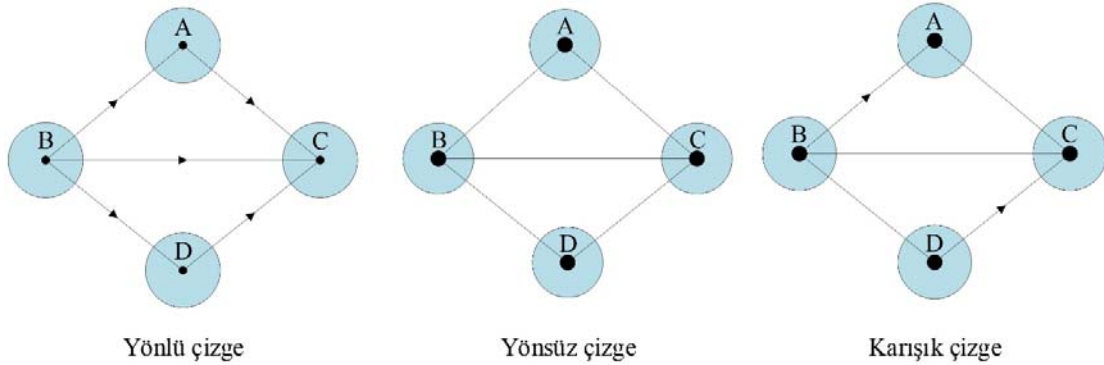
Çizgeler sahip oldukları bağlantıların yönlerine göre Yönlü, Yönsüz ve Karışık olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. Bu çizgeler Şekil 2'de belirtildiği şekilde ifade edilmektedir. Bütün kenarlar arasında tek yönlü bir bağlantı var ise Yönlü çizge, çizgede yön belirtilmemiş ise Yönsüz çizge, Bir çizgede hem yönlü hem de yönsüz kenarlar bulunuyor ise bu çizgelere Karma çizge denilmektedir [16].

2.2. Ağırlıklarına Göre Çizgeler (Graphs By Weight)

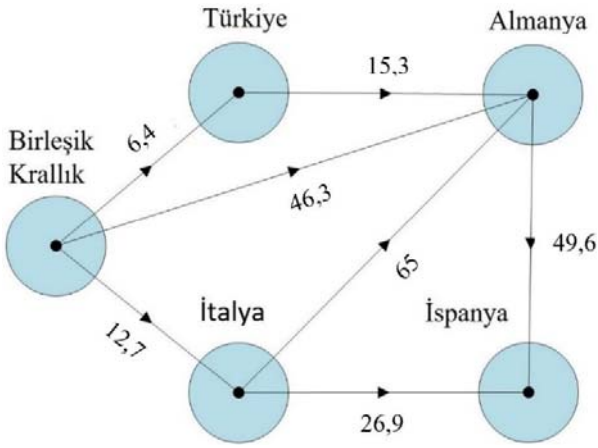
Çizge üzerindeki kenarlar modellenen problemin türüne göre bağlantıların yoğunluğunu ve şiddetini ifade etmesi gerekebilir. Bu durumlar da ağırlıklı çizgeler kullanılmaktadır [17]. Örnek olarak sosyal ağlarda bireyler arasındaki ortak arkadaşların, ortak hobi alanlarının belirtilmesi, ulaşım ağlarında yolların uzunlukları, yollardaki trafik yoğunluğu, yolların kalite durumu, bilgisayar ağlarında networkun bağlantı kalitesini ifade etmekte vb. birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Şekil 3'de ülkelerin birbirleri ile gerçekleştirdikleri ihracat tutarlarını ifade eden örnek bir ağırlıklı çizge verilmiştir. Çizgede belirtilen ihracat verileri 2019 senesine aittir. Çizgeye göre Almanya, İspanya'ya 49,6 milyar dolar ihracat gerçekleştirmiştir [18].

3. MERKEZLİLİK ALGORİTMALARI (CENTRALİTY ALGORITHMS)

Centrality algoritmaları çizge üzerinde etkin-etkili olan düğümleri, diğer bir deyişle düğümler üzerinde baskın olan düğümlerin tespit edilmesinde çözüm sunmaktadır [19]. Literatürde farklı birçok centrality algoritması bulunmaktadır. Bu çalışmada literatür araştırması neticesinde ulaşım ağlarında daha başarılı sonuçlar vereceğini düşündüğümüz Pagerank, Closeness, Betweenness ve Eigenvector algoritmaları üzerinde durulmuştur.



Şekil 2. Yönlerine göre çizgeler (Graph by direction)



Şekil 3. Ülkelerin birbirleri ile gerçekleştirdiği ihracat rakamları (milyar \$)

(Export figure of countries with each other (billion \$)) [18]

3.1. Sayfa Değeri Algoritması (Pagerank Algorithm)

1998 yılında Larry Page ve Sergey Brin tarafından geliştirilmiştir. Web sayfalarının bağlantılarının belirlenmesi ve arama motorlarında aranan içeriklerin daha başarılı bir şekilde sunulması için tasarlanan algoritma, web sitelerinin birbirlerine gönderdikleri bağlantıların yoğunluğu göz önünde bulundurularak etkin web sayfasının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Web sayfalarını birer düğüm olarak düşünürsek gelen bağlantı sayısı ve kaynak düğümün önemine göre bütün düğümlerin puanları yinelemeli bir şekilde komşularına dağıtarak hesaplanmaktadır [20]. Teorik olarak bu süreç bütün çizgenin bir uçtan bir uca incelenmesine denktir. Kısaca bir düğümünün önemini kendisine bağlantı sağlayan düğümlerin ne kadar önemli olduğu belirlemektedir. Eş. 1’de algoritmanın formülü verilmiştir.

$$PR(A) = (1 - d) + d \left(\frac{PR(t_1)}{c(t_1)} + \dots + \frac{PR(t_n)}{c(t_n)} \right) \quad (1)$$

Denklem (1) de verilen $t_1 \dots t_n$ ifadesi değerini bulmak istediğimiz düğümüne bağlantı veren düğümleri, $PR(t_n)$ diğer düğümlere bağlantı veren düğümlerin kendi değerlerini, $C(t_n)$ her düğümün diğer düğümlere verdiği bağlantı sayısını, d (damping factor) bütün oranlar toplamının 1’i geçmemesi için kullanılan katsayıyı ifade etmektedir.

3.2. Yakınlık Merkezlilik Algoritması (Closeness Centrality Algorithm)

Closeness centrality her bir düğümün diğer bütün düğümlere olan uzaklıkları hesaplanarak tüm düğüm çiftleri arasındaki en kısa yolların hesaplanması ile gerçekleştirilir. Tespit edilen sonuç ters çevrilir ve bu sonuçlar içerisinde yüksek puanlı düğümler diğer tüm düğümlere en kısa mesafe toplamlarına sahip olmaktadır [21]. Algoritmaya ait formüller Eş. 2 ve Eş. 3’de verilmiştir.

$$mesafe[u] = \sum_{\substack{u \in V \\ d_G(u,v) \neq \infty}} d_G(u,v) \quad (2)$$

$G = (V, E)$ için $u \in V$ olmak üzere $mesafe[u]$ ilgili düğümün diğer düğümler ile arasındaki mesafe toplamını ifade etmektedir. Eş. 3’deki $cc[u]$ ise Closeness Centrality değerini belirtmektedir.

$$cc[u] = \frac{1}{mesafe[u]} \quad (3)$$

3.3. Özvektör Merkezlilik Algoritması (Eigenvector Centrality Algorithm)

Phillip Bonacich tarafından 1987 yılında önerildi. Eigenvector Centrality algoritması düğümlerin geçiş etkisini ölçerek puanlandırır. Bir düğüm yüksek puanlı düğümler ile sahip olduğu bağlantılardan, düşük puanlı düğümler ile sahip olduğu bağlantılara göre daha fazla etkilenmektedir. Bu durum yüksek puanlı düğümün başka bir yüksek puanlı düğüm ile bağlı olduğunu gösterir [22]. Eş. 4’de ve Eş. 5’de algoritmaya ait kod verilmiştir. A ifadesi bitişiklik matrisi, λ A matrisinin en büyük özdeğer vektörünü ifade etmektedir.

$$Ax = \lambda x, \quad \lambda x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$c(\beta) = \sum_{k=1}^{\infty} \beta^{k-1} A^k \mathbf{1}, \quad |\beta| < 1/\lambda \quad (5)$$

3.4. Arasındalık Merkezlilik Algoritması (Betweenness Algorithm)

Betweenness algoritması düğümlerin birbirlerine en kısa mesafeden ulaşırken kullanmış oldukları kenarlar ile bağlantısı olan düğümlerin en önemli olduğunu belirtir. Bu da çizge ağının en ortasında kalan düğümlerin en etkin olduğunu gösterir [23]. Eş. 6’da algoritmaya ait formül verilmiştir.

$$g(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (6)$$

σ_{st} , s düğümünden t düğümüne en kısa yolların toplamıdır. $\sigma_{st}(v)$ ise v ’nin içinden geçen ayrıtların sayısıdır.

3.5. Önerilen Yaklaşım (Proposed Approach)

Daha önce bahsedilen 4 centrality algoritmasının kendilerine özgün yaklaşımları vardır. Bu algoritmaların odak noktaları tek başlarına çizge üzerinde ulaşım ağlarının önemli konumlarını belirlemede istenen başarılı sonuçları sunamamaktadır. Ulaşım ağı için örneklendirecek olursak; her düğümün bir kavşak noktasını ifade ettiği düşünüldüğünde Eigenvector algoritması sadece bir kavşak noktasının komşu kavşak(düğüm) noktalarına bağlı olan yolların uzunluğuna odaklanmaktadır. Closeness algoritması kavşak noktalarının diğer kavşak noktaları ile arasındaki mesafeye odaklanmaktadır. Betweenness algoritması ulaşım ağı üzerindeki kavşaklar arasındaki en kısa yollar üzerinde bulunan kavşak noktalarına odaklanmaktadır. Pagerank algoritması ise kavşak noktasına bağlantı sağlayan yolların uzunluğuna ve yolların sayısına odaklanmaktadır. Bu algoritmalara ait sonuçlar ulaşım ağında kavşak noktalarının konumsal yüklerinin belirlenmesi için tek başlarına yeterli

olmamaktadır. Önerdiğimiz yaklaşım ile bir kavşak noktasının etkili veya baskın olma değerlerini belirlerken kavşak noktasının farklı yol bağlantılarına, kendisine bağlı olan yolların uzunluğuna, diğer tüm kavşak noktalarına olan mesafesine, ulaşım ağı içerisinde en kısa yollar üzerinde ne oranda bulunduğu odaklanmaktadır. Bu sayede konumsal önem belirlenirken 4 farklı algoritmanın özgün yönleri yeni yaklaşıma yansıtılmıştır. Yeni yaklaşım da hedeflenen odak noktalarının homojen olarak kavşak noktalarını etkilemesi için 4 algoritmaya ait Centrality değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tespit edilen centrality değerleri kendi içerisinde 0-1 arasında normalize edilmiştir. Normalize işleminin uygulanmasının temel sebebi her algoritmanın Centrality değer aralıkları kendine özgü sonuç aralıklarından oluşması ve bu sonuç değerlerinin yeni yaklaşım için eşit oranda uygulanmasını sağlamaktır. 4 algoritmaya ait sonuçların normalize edilerek toplanması, her algoritmanın kendine has özelliklerinin %25 oranında yeni yaklaşıma etki etmesini sağlanmıştır. Yeni yaklaşımın merkezlilik değerlerinin hesaplanmasına ait sözde kod Tablo 1’de verilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde önerilen yöntemde kullanılan algoritmaların ulaşım sitemlerinin birçok farklı alanın da kullanıldığı görülmektedir. [4, 6-8] Yeni yöntemin çıktılarının sağlayacağı faydalardan bazıları; Önerilen yöntemin çıktıları ile ulaşım ağı için yolların kesişim noktalarını oluşturan kavşak noktalarının önemini belirtmesi, bu önem sıralamasına göre kavşak noktalarına yapılacak bakım, onarım ve çevresel düzenlemelerin planlanması sağlanacaktır. Yeni açılacak yolların hangi kavşak noktaları ile bağlantısının yapılacağı ve yeni oluşturulacak kavşak noktalarının konum tespitinde karar destek mekanizması olarak kullanılması amaçlanmıştır. Centrality değerleri yüksek olan kavşak noktalarının yakın çevresinde alternatif kavşak noktalarının oluşturulması ile Kilit konumunda bulunan yüksek centrality değerlerine sahip

kavşak noktalarının ulaşım ağındaki ortalama centrality değerlerine yaklaştırılması için Ulaşım planlama sürecinde fayda sağlaması hedeflenmiştir.

4.UYGULAMA (PRACTICE)

Çalışma Malatya kent merkezindeki cadde ve bulvarların oluşturduğu bir ulaşım ağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan ulaşım ağı 151 kavşak noktası (Düğüm) ve 258 yol (Kenar) bağlantısından oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan örnek ağın yapısı Şekil 4’de verilmiştir.

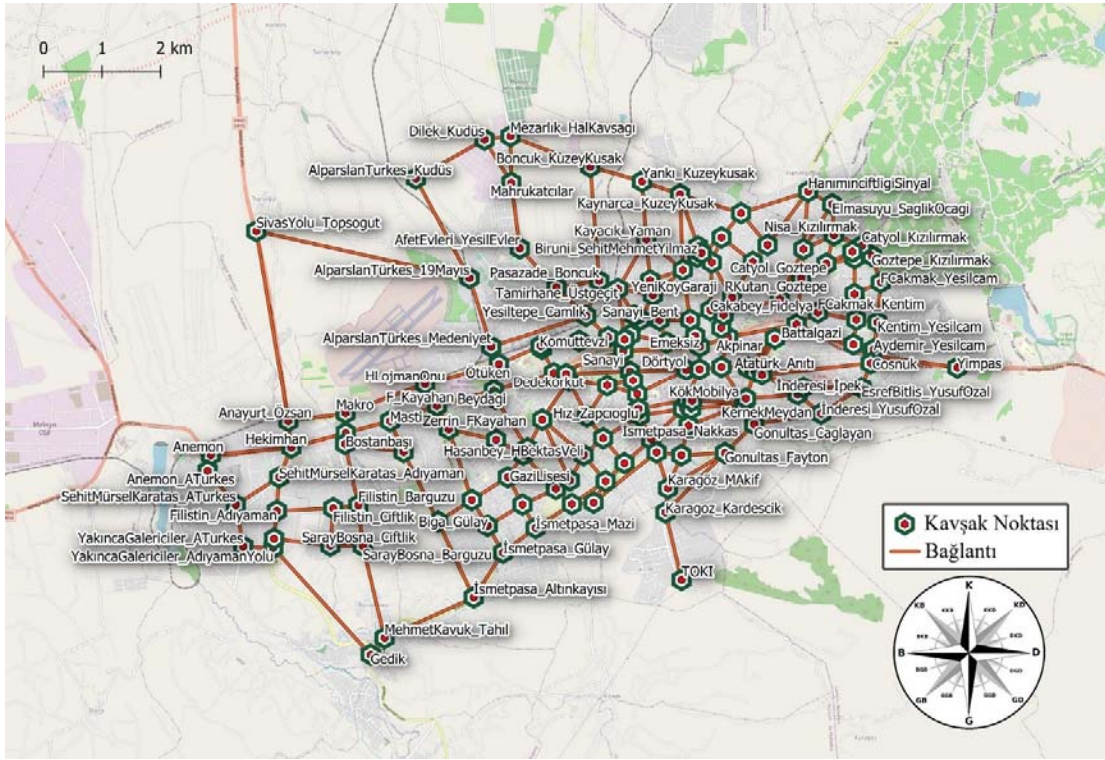
Ulaşım ağının sınırları ve etki alanları trafik yoğunluğuna ve nüfus bilgilerine bakılarak oluşturuldu. Malatya kentinin 2019 senesine ait ortalama hane nüfusu TÜİK’den alınmıştır. Oluşturulan ulaşım ağının sınırları içerisindeki bina ve hane sayısı tespit edilmiştir. Şekil 5.’de ağ içerisinde kalan alandaki binaları belirten görsel verilmiştir. Bu bilgiler ışığında ulaşım ağı içerisinde kalan alanının kent merkezi nüfusunun %90 dan fazlasına hizmet eden kavşak noktalarının seçilmesi sağlanmıştır.

Şekil 6’da, Şekil 5’de belirtilen şeklin yaklaşırlanmış bir kesiti verilmiştir. Bu görselde binalardaki hane sayısı ile ortalama hane nüfusunun çarpılmış hâli görülmektedir. Bu sayede yüksek doğruluk oranında belirtilen alan içerisindeki nüfus bilgilerinin hesaplanmasını sağlamıştır.

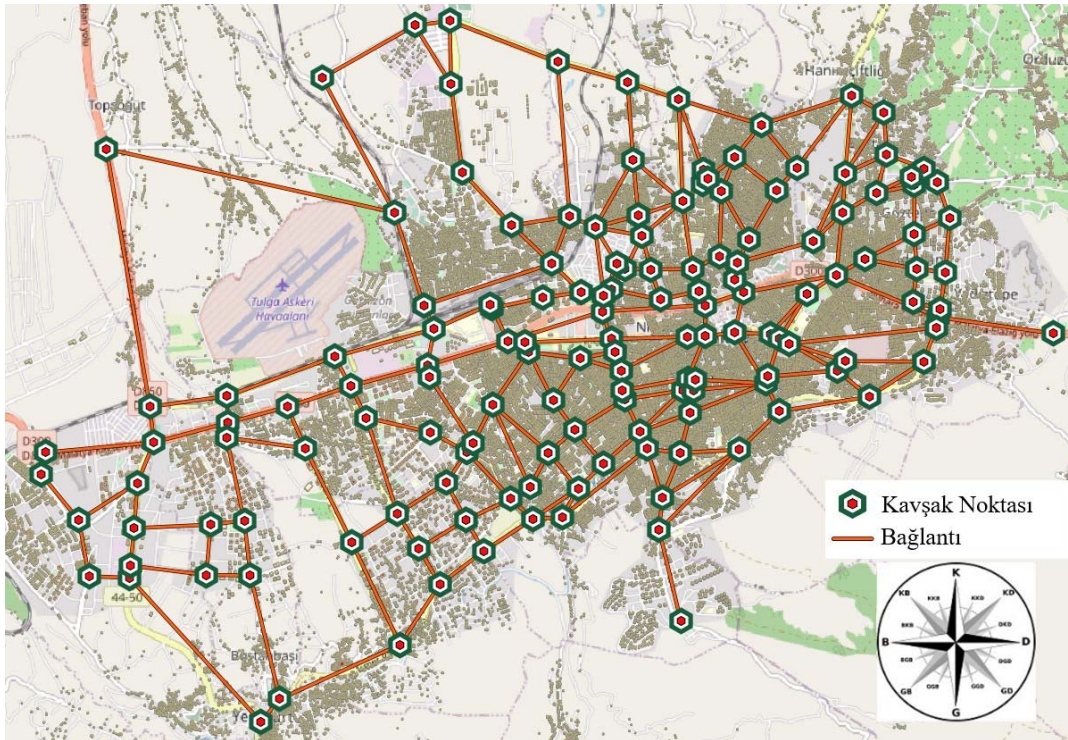
Harita üzerinde belirlenen kavşak ve yol bilgileri merkezlilik algoritmalarının uygulanabilmesi için çizge yapısına dönüştürülmüştür. Şekil 7’de verilen görseldeki düğüm noktaları kavşak noktalarını, düğümleri bağlayan kenarlar ise kavşakları bağlayan yolları ifade etmektedir. Kavşakları bağlayan yollara ait gerçek mesafe değerleri hesaplanarak ağırlıklı çizge yapısına dönüştürülmüştür. Şekil 7’de verilen ulaşım ağındaki kenarların kalınlıkları yolların uzunluklarını belirtir. Yol uzunluğu yüksek olanlar daha kalın, yol

Tablo 1 Normalize merkezlilik zahiri kod (Normalized centrality pseudo code)

Sözde kod	
1. $PR(A) = (1 - d) + d \left(\frac{PR(t1)}{c(t1)} + \dots + \frac{PR(tn)}{c(tn)} \right)$	// Pagerank Formül
2. $PCScore \leftarrow PR(A)$	// Pagerank Centrality Score
3. $mesafe[u] = \sum_{u \in V} d_G(u, v)$	// Closeness Formül
4. $cc[u] = \frac{1}{mesafe[u]}$	
5. $CCScore \leftarrow cc[u]$	// Closeness Centrality Score
6. $Ax = \lambda x, \quad \lambda x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j, \quad i = 1, \dots, n$	// Eigenvector Formül
7. $c(\beta) = \sum_{k=1}^{\infty} \beta^{k-1} A^k \mathbf{1}, \quad \beta < 1/\lambda$	
8. $ECScore \leftarrow c(\beta)$	// Eigenvector Centrality Score
9. $g(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$	// Betweenness Formül
10. $BCScore \leftarrow g(v)$	// Betweenness Centrality Score
11. Normalize(X)	// 0-1 Normalize
12. $normalize \leftarrow \frac{X - \text{Min}(X)}{\text{Max}(X) - \text{Min}(X)}$	
13. return normalize	
14. $CentralityScore \leftarrow \text{Normalize}(PCScore) + \text{Normalize}(CCScore) + \text{Normalize}(ECScore) + \text{Normalize}(BCScore)$	



Şekil 4. Malatya kent merkezi ulaşım ağı (Malatya city center transportation network)



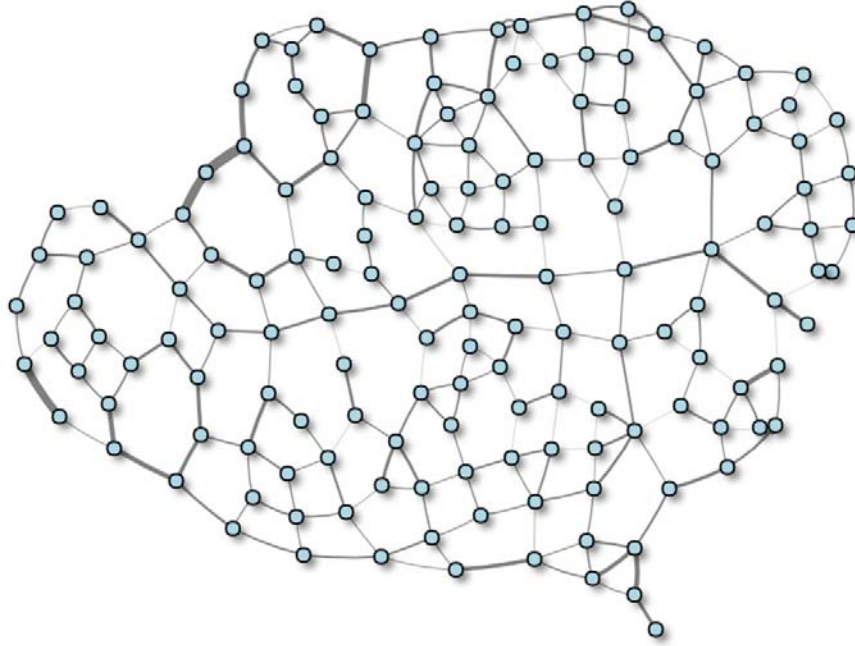
Şekil 5. Malatya kent merkezindeki konutların dağılımları (Distribution of residences in Malatya city center)

uzunlukları kısa olan ise daha ince olacak şekilde görselleştirilmiştir. Uygulamada kullanılacak ulaşım ağı yapısal bakımdan yönsüz ve ağırlıklı bir çizgedir. Yönsüz olmasının sebebi ağdaki yolların çift yönlü akıyor olmasıdır.

Kavşağa bağlı olan yolların uzunluğunun kavşak üzerindeki baskıyı artıracığı öngörülmektedir. Bunun temel sebebi cadde ve bulvarların uzunluğu arttıkça bu yollara daha fazla ara yol ve sokaktan bağlantı olacağı için yol üzerindeki



Şekil 6. Ortalama hane halkı nüfus dağılımı (Average household population distribution)



Şekil 7. Kent merkezi cadde ve bulvarlar çizge yapısı (City center street and boulevard graph structure)

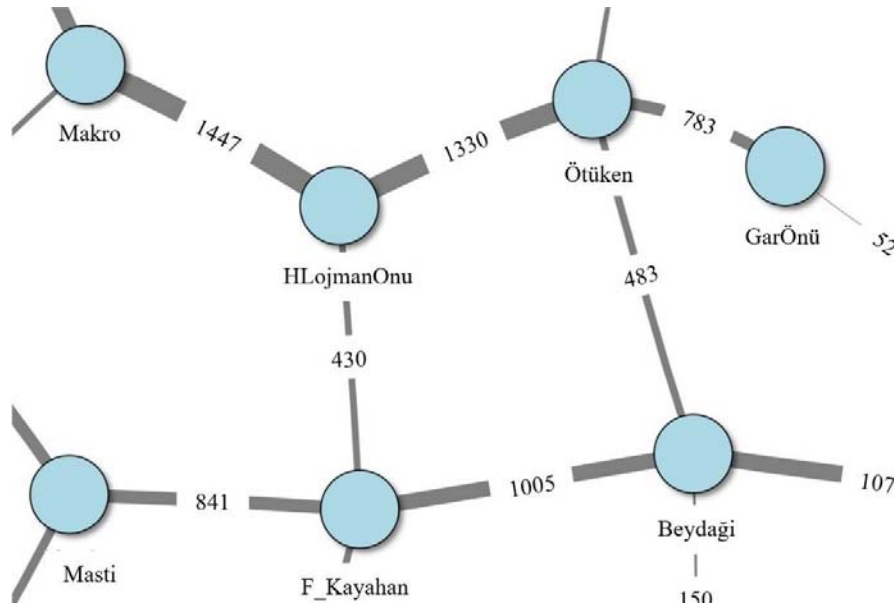
trafiğin artmasıdır. Ayrıca yol uzunluğu araç kapasitesi hakkında net olmasa da kent merkezi için fikir vermektedir. Kavşaklar bu araç kapasitesini yönlendirebilecek yapıda olmalıdır. Şekil 8.'de çizgenin yakınlştırılmış hâli verilmiştir. Kenarlar üzerindeki değerler yolların metre cinsinden uzunluğunu belirtmektedir.

4.1. Sayfa Değeri Algoritması Sonuçlar (Pagerank Algorithm Results)

Pagerank algoritması bir kavşak noktası ile bağı olan kavşakların sayısı ve ona olan uzaklığı ile onun değerini

arttırır. Komşu kavşak noktaları uzun mesafelere sahip ne kadar farklı yol bağlantısına sahip ise komşu kavşak noktasına baskınlığı o kadar yüksek olur. Ağırlıklı graf üzerine uygulanan Pagerank algoritmasına göre en etkin 15 kavşak noktası ve değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Pagerank değerleri incelendiğinde Battalgazi kavşağı az bir fark ile en etkin kavşak olarak tespit edilmiştir.

En etkin kavşak olarak belirlenen Battalgazi kavşağının çizge üzerindeki konumu Şekil 9'da verilmiştir. Dğümlerin yarıçaplarının büyümesi pagerank centrality değerinin büyük olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 8. Tasarlanan çizgenin yapısı (Structure of the designed graph)

Tablo 2 Pagerank merkezlilik değerleri (Pagerank centrality values)

Kavşak Sıra	Kavşak Adı	Pagerank Centrality
1	Battalgazi	0,012159244
2	Kaynarca_SaatKulesi	0,012127767
3	KernekMeydan	0,011764611
4	Gonultas_Fayton	0,011331811
5	Tamirhane_Üstgeçit	0,011291699
6	AlparslanTürkcs_19Mayıs	0,011233167
7	SivasYolu_Topsogut	0,010985098
8	Elmasuyu_Battalgazi	0,0104836
9	Yenibahar_Alyans	0,01027985
10	Kaynarca_KuzeyKusak	0,009922362
11	HanımıncıftligiSinyal	0,009812878
12	İsmetpasa_Altınkayısı	0,009354261
13	Melekbaba_Imparator	0,00931265
14	Kayacak_Yaman	0,00927627
15	Hastane_MehmetBuyruk	0,009271501

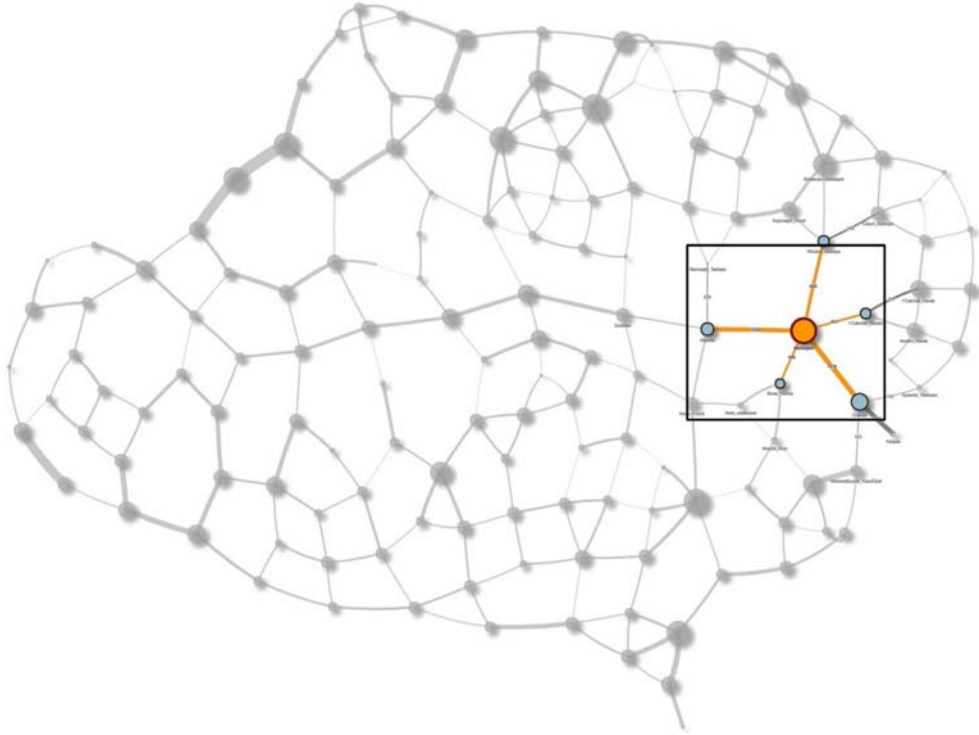
Şekil 10'da, Şekil 9'da dikdörtgen içerisinde Battalgazi kavşağının yakınlştırılmış hâli verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere Battalgazi kavşağını etkin yapan komşu kavşaklar ve bu komşu kavşakların etkin olma durumları belirtilmiştir.

4.2. Özvektör Merkezlilik Sonuçları (Eigenvector Centrality Results)

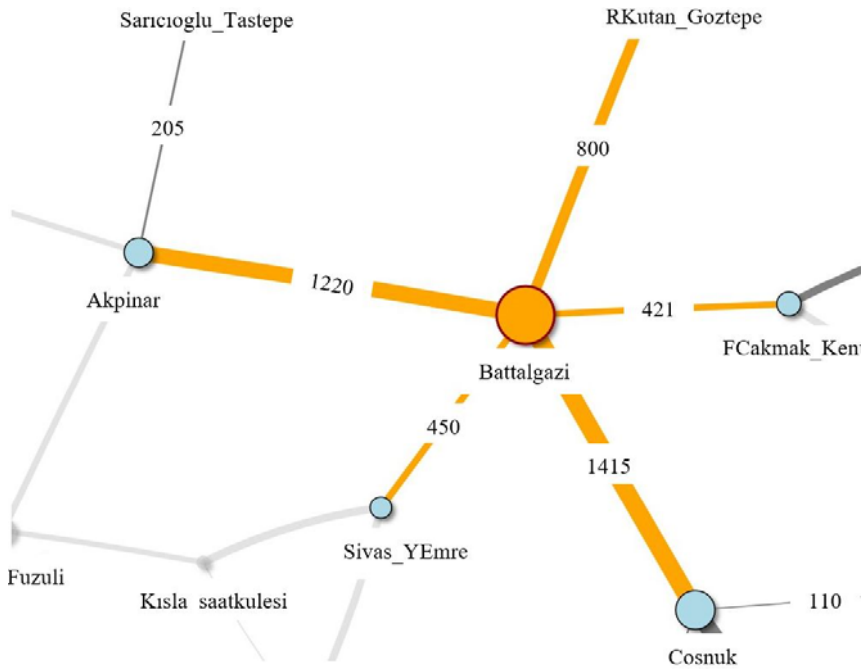
Eigenvector merkezlilik algoritması bir kavşağın etkin olma değerini belirlerken, kavşağa bağlı olan diğer kavşak noktalarının ne kadar etkin olduğunu göz önünde bulundurur.

Bu yüzden algoritmada Eigenvector centrality kavşak değerlerini en çok etkileyen parametreler kavşağa bağlı yolların uzunluğu ve komşu kavşak noktalarının etkin olma değerleridir. Tablo 3'de en yüksek Eigenvector merkezlilik değerine sahip ilk 15 kavşağa ait bilgiler verilmiştir. Veriler incelendiğinde SivasYolu_Topsogut kavşağı en etkin kavşak olarak tespit edilmiştir.

Şekil 11.'de SivasYolu_Topsogut kavşağı ve komşularının çizge üzerindeki konumu verilmiştir. Görsel de diğer düğümlerin görülmemesinin sebebi SivasYolu_Topsogut kavşağı ve bağlı olan komşularının Eigenvector değerlerinin



Şekil 9. Pagerank merkezliliğe göre Battalgazi kavşağının çizge üzerindeki konumu
(Position of Battalgazi intersection on the graph according to pagerank centrality)

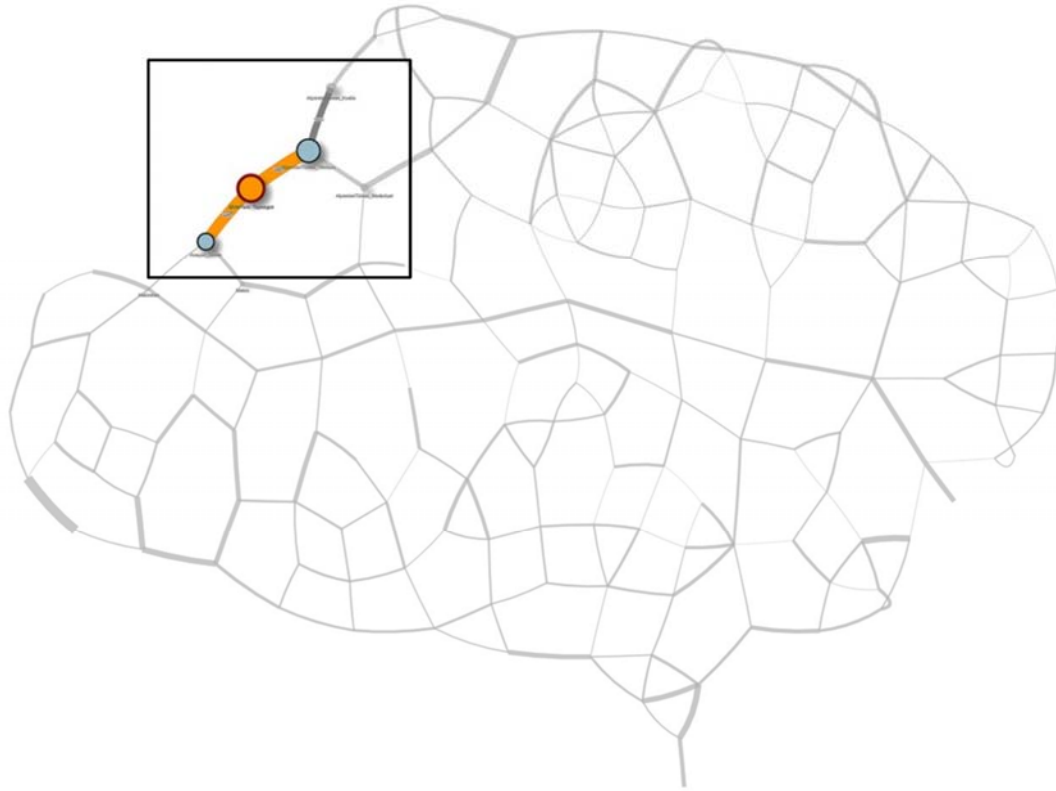


Şekil 10. Pagerank merkezliliğe göre Battalgazi kavşağı ve bağlantı noktaları
(Battalgazi intersection and connection points according to pagerank centrality)

diğer kavşak noktalarına göre çok yüksek çıkmasıdır. Bunun en önemli nedeni SivasYolu_Topsogut kavşağına bağlı yolların uzunluğunun diğer kavşaklara oranla çok yüksek olmasıdır. Şekil 12.'de, Şekil 11'de dikdörtgen içerisinde belirtilen SivasYolu_Topsogut kavşağının yakınlştırılmış hâli verilmiştir.

4.3. Yakınlık Merkezlilik Sonuçları (Closeness Centrality Results)

Closeness merkezlilik değeri bir kavşağın diğer bütün kavşaklara olan uzaklıklarını hesap eder ve bunu bütün kavşak noktaları için hesaplar. Bütün kavşak noktalarına daha kısa mesafede bulunan kavşakların merkezlilik değerinin yüksek



Şekil 11. Eigenvector merkezliliğe göre SivasYolu_Topsogut kavşağının çizge üzerindeki konumu
(Position of SivasYolu_Topsogut intersection on the graph according to eigenvector centrality)

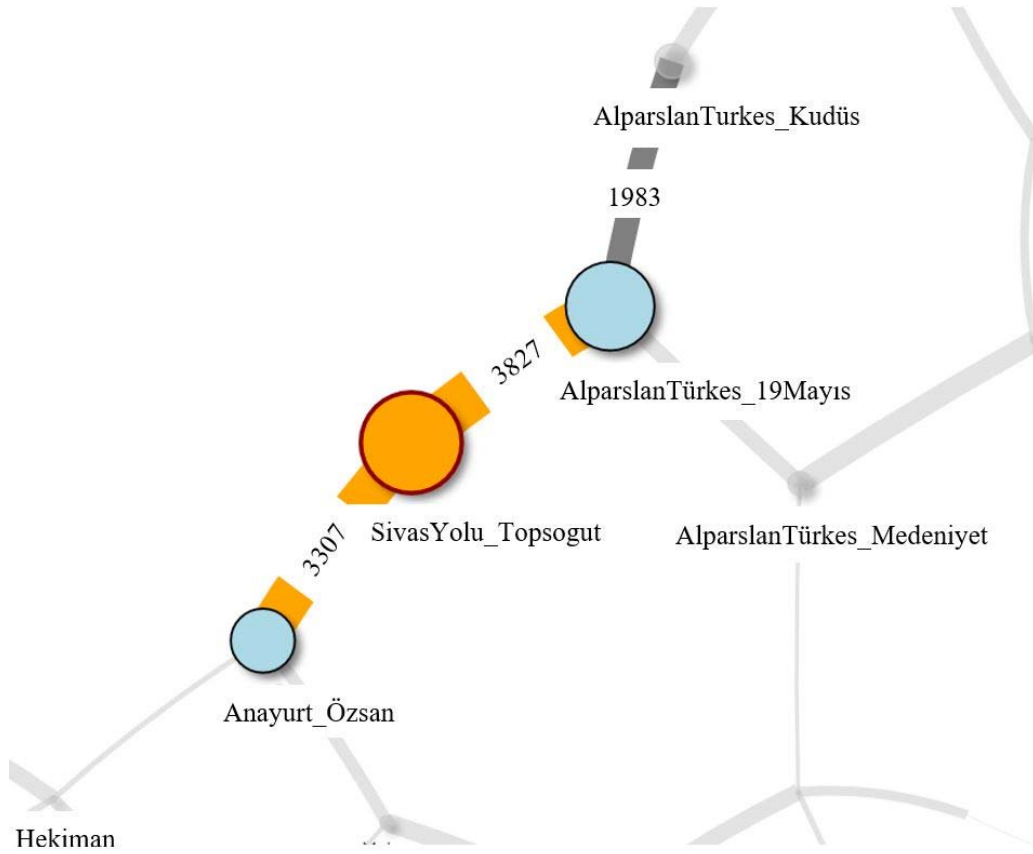
Tablo 3 Eigenvector merkezlilik değerleri (Eigenvector centrality values)

Kavşak Sıra	Kavşak Adı	Eigenvector Centrality
1	SivasYolu_Topsogut	1,000000000
2	AlparslanTürkes_19Mayıs	0,878734100
3	Anayurt_Özsan	0,634145600
4	AlparslanTurkes_Kudüs	0,340808300
5	AlparslanTürkes_Medeniyet	0,231448100
6	Makro	0,128102100
7	Dilek_Kudüs	0,087821430
8	Yesiltepe_Camlık	0,078547030
9	Hekimhan	0,060386470
10	HLojmanOnu	0,040242510
11	Ötüken	0,024440170
12	Bostanbaşı	0,019626010
13	Pasazade_Boncuk	0,018738870
14	Mahrukatçılar	0,017035820
15	Anemon	0,014869380

olduğu söylenir. Closeness değerine göre en etkin 15 kavşağa ait bilgiler Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde bütün kavşaklara en yakın mesafede bulunan kavşağın İnönü_Sıtmapınarı kavşağı olduğu tespit edilmiştir. İnönü_Sıtmapınarı kavşağının ve komşu kavşakların çizge üzerindeki konumu Şekil 13.’de verilmiştir. Şekil 14.’de, Şekil 13’de dikdörtgen içerisinde belirtilen İnönü_Sıtmapınarı kavşağının yakınlştırılmış hâli verilmiştir.

4.4. Arasındalık Merkezlilik Sonuçları (Betweenness Centrality Results)

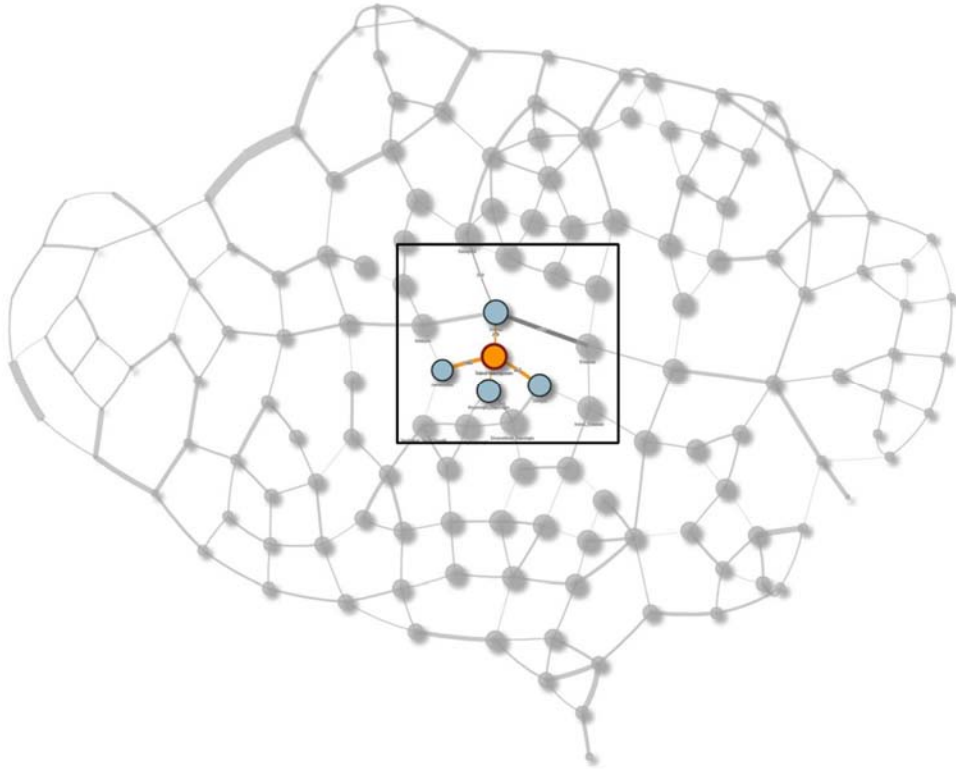
Betweenness merkezlilik değeri her kavşağın diğer bütün kavşaklar ile en kısa yolları hesaplanır. Bu tespit edilen en kısa yollar üzerinde en çok kesişen kavşakların Betweenness merkezlilik değeri yüksek olmaktadır. Tablo 5’de Betweenness merkezlilik değeri en yüksek olan 15 kavşak noktasına ait değerler verilmiştir.



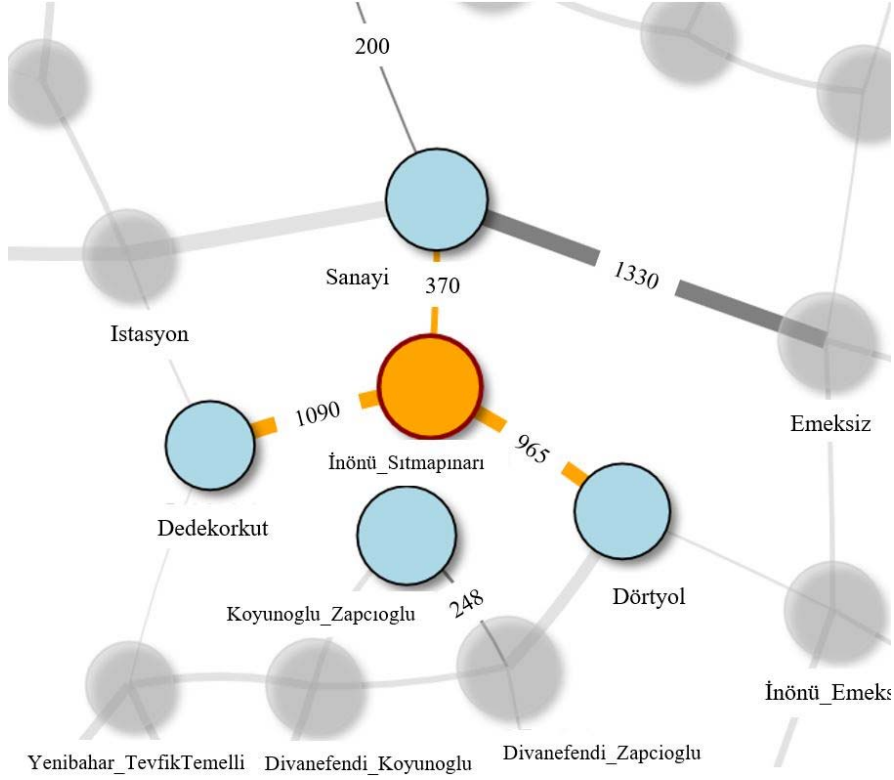
Şekil 12. Eigenvector merkezliliğe göre SivasYolu_Topsogut kavşağı ve bağlantı noktaları (SivasYolu_Topsogut intersection and connection points according to eigenvector centrality)

Tablo 4 Closeness merkezlilik değerleri (Closeness centrality values)

Kavşak Sıra	Kavşak Adı	Closeness Centrality
1	İnönü_Sitmapınarı	0,0000019797
2	Sanayi	0,0000019690
3	Divanefendi_Zapcioglu	0,0000019499
4	SanayiAlt	0,0000019422
5	Koyunoglu_Zapcioglu	0,0000019341
6	Sanayİltfaiye	0,0000019234
7	İnönü_Emeksiz	0,0000019108
8	Dört Yol	0,0000018954
9	Emeksiz	0,0000018916
10	Divanefendi_Koyunoglu	0,0000018849
11	Hız_Zapcioglu	0,0000018778
12	Sanayi_Yeniyol	0,0000018672
13	Komuttevzi	0,0000018561
14	Hasanbey_Zapcioglu	0,0000018560
15	TurgutTemelli_Boztepe	0,0000018556



Şekil 13. Closeness merkezliliğe göre İnönü_Sıtmapınarı kavşağının çizge üzerindeki konumu
(Position of İnönü_Sıtmapınarı intersection on the graph according to closeness centrality)



Şekil 14. Closeness merkezliliğe göre İnönü_Sıtmapınarı kavşağı ve bağlantı noktaları
(İnönü_Sıtmapınarı intersection and connection points according to closeness centrality)

En yüksek Betweenness merkezlilik değerine sahip Beydagi kavşağının çizge üzerindeki konumu Şekil 15’de verilmiştir. Şekil 16’da, Şekil 15’de dikdörtgen içerisinde belirtilen Beydagi kavşağının yakınlaştırılmış hâli verilmiştir.

4.5. Önerilen Yaklaşım (Proposed Approach)

Bütün Centrality algoritmaları ile bu algoritmalarından eşit oranda etkilenen yeni yaklaşıma ait Centrality değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Tablo da yeni yaklaşıma göre en etkin konumda bulunan 15 Kavşak noktasına yer verilmiştir.

Veriler incelendiğinde Sanayi kavşak noktası tasarlanan ulaşım ağı içerisinde kendisine bağlı yolların sayısı ve mesafesi, diğer kavşak noktalarına olan yakınlığı ve kavşaklar arasındaki en kısa yollar üzerinde bulunmasından dolayı en etkin kavşak olarak tespit edilmiştir. Sanayi kavşağının diğer centrality algoritmalarındaki etkin olma sıralaması Pagerank da 18., Eigenvector da 44., Closeness da 2., Betweenness da 5. dir.

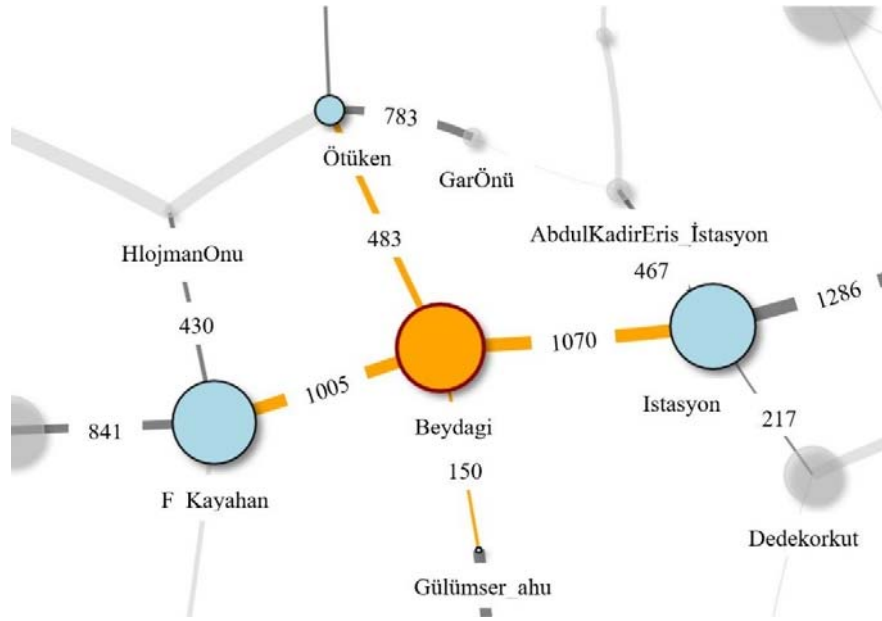
Sanayi kavşağı ve komşu kavşak noktalarına ait görseller Şekil 17’de verilmiştir.

Tablo 5 Betweenness merkezlilik değerleri (Betweenness centrality values)

Kavşak Sıra	Kavşak Adı	Betweenness centrality
1	Beydagi	2367
2	SanayiAlt	2353
3	İstasyon	2314
4	F_Kayahan	2268
5	Sanayi	2135
6	İnönü_Emeksiz	2131
7	Masti	1890
8	Bostanbaşı	1813
9	İnönü_Sıtmapınarı	1774
10	Sanayiltfaiye	1714
11	Battalgazi	1602
12	Divanefendi_Zapcioglu	1553
13	Dedekorkut	1540
14	İnönü_Fuzuli	1537
15	Sanayi_Yeniyol	1427



Şekil 15. Betweenness merkezliliğe göre Beydagi kavşağının çizge üzerindeki konumu
(Position of Beydagi intersection on the graph according to betweenness centrality)



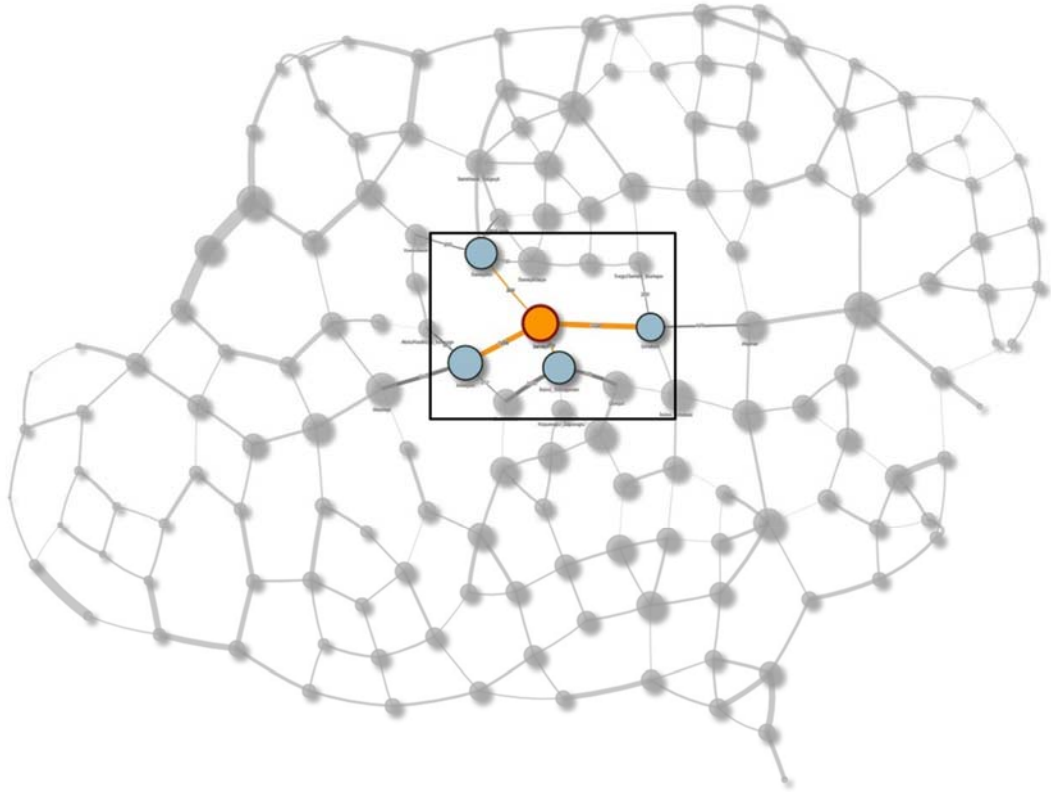
Şekil 16. Betweenness merkezliliğe göre Beydagi kavşağı ve bağlantı noktaları
(Beydagi intersection and connection points according to betweenness centrality)

Tablo 6 Kavşaklara ait normalize toplam merkezlilik değerleri (Normalized total centrality values of intersections)

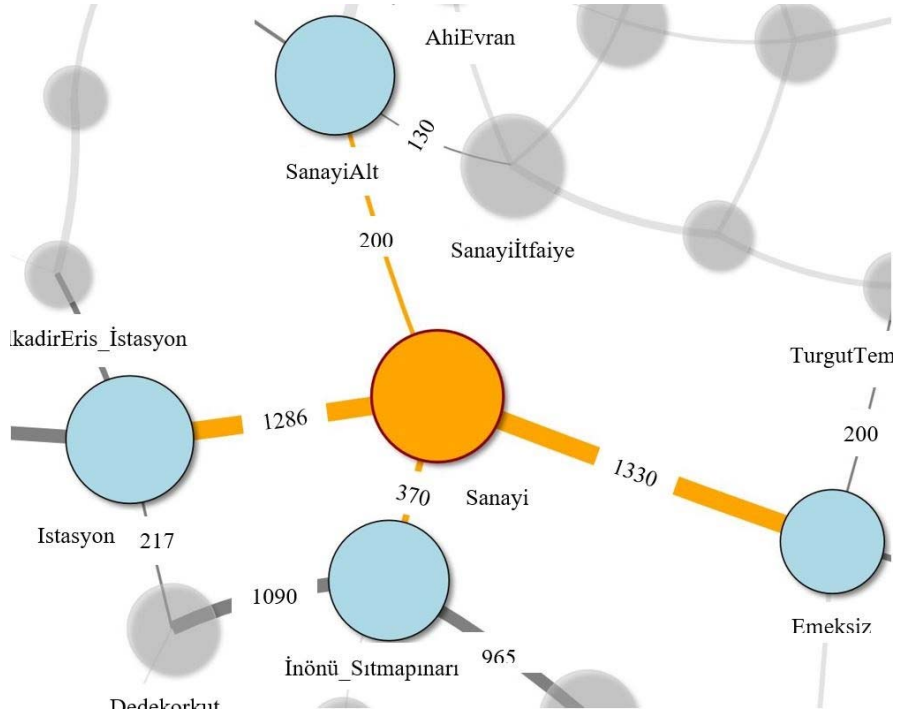
Kavşak İsim	Pagerank normalize	Eigenvector normalize	Closeness normalize	Betweenness normalize	Normalize Centrality
Sanayi	0,66452919	0,0001978	0,9911573	0,9019856	2,557869955
İstasyon	0,632371889	0,0006686	0,8660133	0,9776088	2,476662533
İnönü_Sıtmapınarı	0,585844395	0,0000202	1,0000000	0,7494719	2,335336525
SanayiAlt	0,342558443	0,0007375	0,9691243	0,9940853	2,30650558
Battalgazi	1	0,0000014	0,6033344	0,6768061	2,280141854
AlparslanTürkes_19Mayıs	0,902633155	0,8787341	0,3466006	0,1212505	2,249218425
Beydagi	0,495533326	0,0030901	0,7039216	1,0000000	2,202545027
İnönü_Emeksiz	0,292661243	0,0000039	0,9432920	0,9002957	2,136252799
KernekMeydan	0,958508666	0,0000001	0,7379453	0,3831855	2,079639551
Divanefendi_Zapcioglu	0,436121568	0,0000007	0,9754736	0,6561048	2,067700723
Kaynarca_SaatKulesi	0,996690538	0,0003218	0,7229657	0,3354457	2,055423714
Emeksiz	0,48766083	0,0000491	0,9274140	0,6020279	2,017151826
F_Kayahan	0,470431065	0,0043171	0,5379673	0,9581749	1,970890414
İnönü_Fuzuli	0,437948043	0,0000008	0,8766107	0,6493452	1,963904701
Sanayilftaiye	0,277440054	0,0000419	0,9536514	0,7241234	1,955256702

Şekil 17’de dikdörtgen ile belirtilen alanda Sanayi kavşağı ve bu kavşağa bağlı diğer kavşak noktalarının yakınlştırılmış hâli Şekil 18’de verilmiştir. Şekil üzerinde soluk olarak belirtilen kavşak noktalarının çizge üzerindeki boyutlarından anlaşılacağı üzere Sanayi kavşağı ve komşu kavşak noktalarının kentin merkezinde ve oldukça kilit bir noktada bulunmaktadır. Bu durumda kent trafiğini rahatlatmak için yapılacak yatırımlarda bu kavşakların önemini artırmaktadır. Önerilen yöntemin çıktısı Yandex map editör üzerinde doğrulanmıştır [24]. Şekil 19’da Yandex

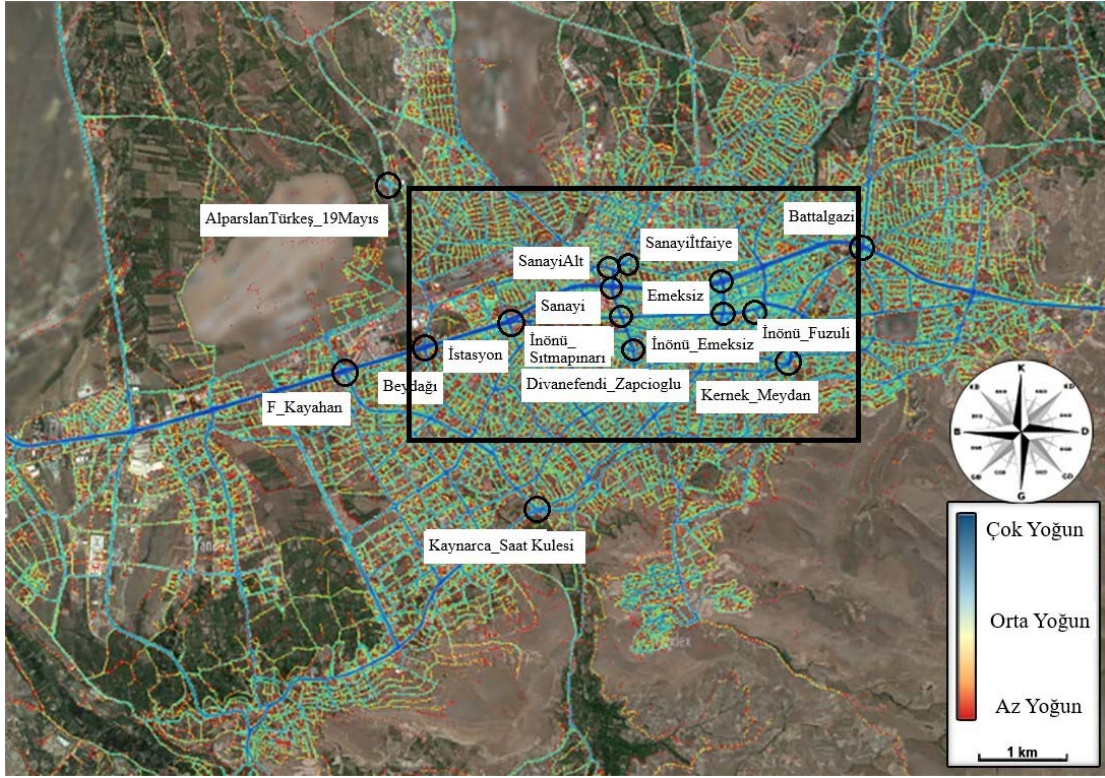
haritaların GPS verilerine göre yol ve kavşak noktalarındaki yoğunluklar verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde çalışmada önerilen yöntemin çıktısı Tablo 5’deki en kritik kavşak noktalarının GPS verilerine göre mavi renk ile belirtilerek en yoğun kavşak noktaları olarak ifade edildiği görülmektedir. Şekil 19’da ayrıca Tablo 5’de verilen kavşak noktalarının konumları harita üzerinde siyah çember ile belirtilmiştir. Verilen 15 kavşak noktasının hepsi Yandex haritalar tarafından yüksek yoğunluklu bölge olan mavi renk ile ifade edilmiştir.



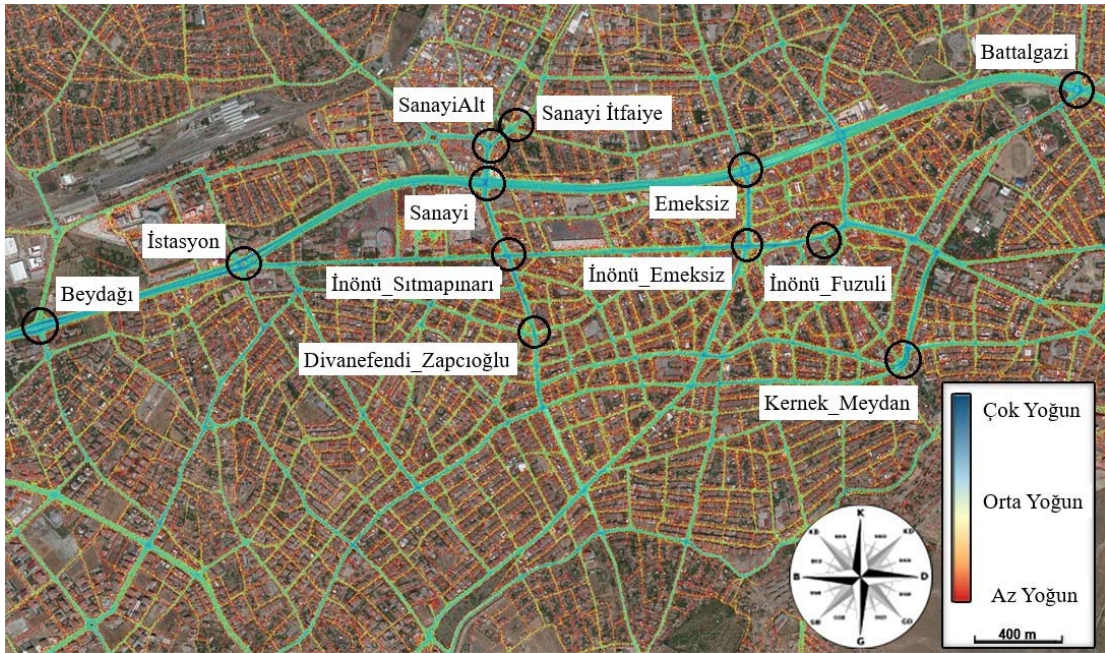
Şekil 17. Normalize merkezliliğe göre Sanayi kavşağının çizge üzerindeki konumu
(Position of Sanayi intersection on the graph according to normalized centrality)



Şekil 18. Normalize merkezliliğe göre Sanayi kavşağı ve bağlantı noktaları
(Sanayi intersection and connection points according to normalized centrality)



Şekil 19. Yandex harita GPS yoğunluk verileri (Yandex map GPS density data)



Şekil 20. Yandex yakınlaştırılmış GPS yoğunluk haritası (Yandex zoomed GPS density map)

Şekil 20’de ise Şekil 19’da dikdörtgen içerisinde belirtilen alanın yakınlaştırılmış hâli verilmiştir.

5. SONUÇLAR(REULTS)

Malatya kent merkezinde cadde ve bulvarlar üzerinde bulunan kavşak noktalarının konumsal olarak önemini

belirlemek için kente ait ulaşım ağının graf yapısı oluşturularak 4 farklı centrality algoritması ayrı ayrı uygulanmıştır. Her algoritmaya ait sonuçlar sayısal ve görsel formda karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Her algoritmaya ait özgün yönler incelenmiş ve ulaşım ağı üzerindeki etkisi açıklanmıştır. Algoritmaların tek başına uygulanması ile elde edilen sonuçların yetersizliklerinden bahsedilmiş ve 4

algoritmaya ait sonuçların normalize edilerek birleştirilmesiyle hibrit bir yöntem önerilmiştir. Sonuçlar çizge üzerinde görsel olarak vurgulanmıştır. Yeni yaklaşım, diğer algoritmaların özgün yönlerini eşit oranda sağlayarak centrality algoritmalarının kendilerine ait dezavantajlarını minimize ettiği görülmüştür. Çalışmada yeni yaklaşım ile elde edilen sonuçlar incelenmiş ve diğer algoritmalara göre daha homojen sonuçlar elde edilmiştir. Çizge ağının bütünü düşünüldüğünde bu homojen yapının daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Yandex haritalar üzerinde GPS izi verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada GPS verisi ile önerilen yöntemin sonuçları arasında yüksek oranda benzerlik olduğu tespit edilmiştir. Bu sayede GPS yoğunluk haritası önerilen yöntemin başarısını doğrulamıştır. Çalışmada sunulan kavşak noktalarının konumsal üstünlükleri ile o kavşakların yoğunlukları arasındaki benzerliğin doğrulanması yapılmış oldu. Kavşak noktalarının konumsal önemi kentin trafiğini rahatlatarak çözümler için önemli avantajlar sağlayacaktır. Sınırlı bütçe göz önünde bulundurularak gerçekleştirilecek kavşak yenileme, genişletme çalışmalarında, Yerleşim yerlerini birbirine bağlayacak yeni yolların hangi kavşak noktaları ile birleştirileceği hakkında yatırım önceliği verilmesinde ciddi fayda sağlayacaktır. Ayrıca bu çalışmanın bulguları yol ağı yönetimi, planlanması ve kentsel trafik inşaatı optimizasyonları için karar verme destek sistemleri için kullanılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Wijnands JS, Zhao H, Nice KA, Thompson J, Scully K, Guo J, Stevenson M., Identifying safe intersection design through unsupervised feature extraction from satellite imagery, *Comput Aided Civ Inf*, 1– 16, 2020.
2. Xing W., Ghorbani A., Weighted PageRank algorithm, *Proceedings, Second Annual Conference on Communication Networks and Services Research*, Fredericton, NB, Canada, 305-314, 2004.
3. Brandes U., Borgatti S.P., Freeman L.C., Maintaining the duality of closeness and betweenness centrality , *Social Networks*, 44, 153-159, 2016.
4. Ando H., Bell M., Kurauchi F., Wong K. I., Cheung K.-F., Connectivity evaluation of large road network by capacity-weighted Eigenvector centrality analysis, *Transportmetrica A: Transport Science*, 2020
5. Xu M., Wu J., Liu M., Xiao Y., Wang H., Hu D., Discovery of Critical Nodes in Road Networks Through Mining From Vehicle Trajectories, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20 (2), 583-593, 2019.
6. Wang J., Mo H., Wang F., Jin F., Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network: A complex network approach , *Journal of Transport Geography*, 19 (4), 712-721, 2011.
7. Rui Y., Ban Y., Exploring the relationship between street centrality and land use in Stockholm, *International Journal of Geographical Information Science*, 28 (7), 1425-1438, 2014.
8. Liu W., Li X., Liu T., Liu B., Approximating Betweenness Centrality to Identify Key Nodes in a Weighted Urban Complex Transportation Network, *Journal of Advanced Transportation*, 2019 (2),1-8, 2019.
9. El-adaway I. H., Abotaleb I., Vechan E., Identifying the most critical transportation intersections using social network analysis, *Transportation Planning and Technology*, 41 (4), 353-374, 2018
10. Wang F., Antipova A., Porta S., Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana, *Journal of Transport Geography*, 19 (2), 285-293, 2011
11. Porta S., Strano E., Iacoviello V., Messori R., Latora V., Cardillo A., Wang F., Scellato S., Street Centrality and Densities of Retail and Services in Bologna, Italy, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36 (3), 450-465, 2019.
12. Derrible S., Network Centrality of Metro Systems, *PLoS ONE*, 7 (7), 2012
13. Wang K., Fu X., Research on centrality of urban transport network nodes, *AIP Conference Proceedings*, 1839 (1), 2017.
14. Öztemiz F., Karcı A., Akademik Yazarların Yayınları Arasındaki İlişkinin Sosyal Ağ Benzerlik Yöntemleri ile Tespit Edilmesi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25 (1), 591-608, 2020.
15. Bader D. A., Madduri K., Parallel Algorithms for Evaluating Centrality Indices in Real-world Networks, *International Conference on Parallel Processing (ICPP'06)*, Columbus-OH, 539-550, August, 2006.
16. Salman C., A New Network Centrality Measure: Relative Edge Importance Method, Master Thesis, Department of Industrial Engineering, Hacettepe University, Ankara, 2018.
17. İnce K., Karcı A., Modelling and statistical analysis of academic collaborations as a new graph type, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 439-459, 2019.
18. World Trade Map. <https://www.trademap.org/>. Erişim Tarihi Kasım 11, 2020.
19. You K., Tempo R., Qiu L., Distributed Algorithms for Computation of Centrality Measures in Complex Networks, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 62 (5), 2080-2094, 2017
20. Yan E., Ding Y., Discovering author impact: A PageRank perspective, *Information Processing & Management*, 47 (1), 125-134, 2011.
21. Sariyüce A.E., Kaya K., Saule E., Çatalyirek Ü.V., Incremental algorithms for closeness centrality, *IEEE International Conference on Big Data*, Silicon Valley, CA, 487-492, October 2013.
22. Bonacich P., Some unique properties of eigenvector centrality, *Social Networks*, 29 (4), 555-564, 2007.
23. Brandes U., On variants of shortest-path betweenness centrality and their generic computation, *Social Networks*, 30 (2), 136-145, 2008.
24. Yandex Map Editor. <https://mapeditor.yandex.com.tr/>. Erişim Tarihi Nisan 7, 2021.