



İzmir'in Sokak ve Cadde Ağlarının Çizge Teori Tabanlı Değerlendirilmesi

Roads And Street Networks Evaluation Of Izmir City based on Graph Theory

Vahid Akram 

Ege Üniversitesi Uluslararası Bilgisayar Enstitüsü, İzmir, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: vahid.akram@ege.edu.tr

Öz

Şehirlerin cadde ve sokak ağları insanların günlük faaliyetlerini ve yaşam kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmada çizge teorisine dayanarak İzmir ve ilçelerinin sokak ve cadde ağının topolojik yapısı ve güvenilirliği incelenmiştir. İlçelerin sokak ve cadde ağları Open Street Map platformu aracılığıyla oluşturulup, çizge modeline dönüştürüldükten sonra düğüm derece dağılımı, çap ve yarıçap, dış merkezlik, kümeleme katsayısı ve en küçük bağlı hakim küme gibi 17 farklı özellik hesaplanmıştır. Örneğin, İzmir ilçelerinin çıkmaz sokaklarının sayısı ve yoğunluğu, konumlar arası alternatif patikaların sayısı, en kısa patikaların uzunluğu, seçili konumlardan geçen en kısa yollar ve kritik caddeler ve kavşaklar gibi çeşitli veriler üretilmiştir. Bu veriler, ilçelerin gelişme durumunu değerlendirmek için alternatif ve somut ölçekler ortaya koyarak ilçeler arasında ve İzmir ile diğer şehirler arasında somut karşılaştırma olanaklarını sağlamaktadır. Yapılan hesaplamalara göre, İzmir'in ilçelerinde ortalama 4196.33 ve 6140.9 kenar bulunmaktadır. En çok düğüm ve kenara sahip Bornova ilçesinde 10223 düğüm ve 15772 kenar ve en az düğüm ve kenara sahip Beydağ ilçesinde 427 düğüm ve 557 kenar bulunmaktadır. Tüm ilçelerin ortalama düğüm derecesi 2.88, ortalama kritik düğüm sayısı 680.6, ortalama kritik kenar sayısı 808.56, çıkmaz sokakların ortalama sayısı ve oranı sırayla 657.26 ve %16.88, en küçük kapsayan ağaçların ortalama kenar sayısı 4195.33 ve bu ağaçların ortalama uzunluğu 591493.84 m olarak hesaplanmıştır. En az orana sahip Karabağlar ilçesinde kenarların %61.64'u en küçük kapsayan ağaçta kullanılırken en yüksek orana sahip Kiraz ilçesinde kenarların %78.49'u en küçük kapsayan ağaçta kullanılmıştır. İlçelerinin sokak ve cadde ağında rastgele seçilen iki konum arasında ortalama 1.91 bağımsız patika bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler:Sokak ve Cadde Ağları, Open Street Map, Çizge Kuramı, Karmaşık Ağlar

Abstract

Road and street networks significantly affect people's daily activities and quality of life. In this work, topological structure and reliability of the street and road network of İzmir and its districts were examined based on graph theory. After creating streets networks with the Open Street Map and converting the networks to the graph models, 17 different property such as node degree distribution, diameter and radius, eccentricity, clustering coefficient and dominating set have been calculated on the models. Various data such as the number and density of dead-end streets, the number of alternative roads and the length of the shortest roads, in İzmir districts have been calculated. These data may provide meaningful comparison opportunities between districts and between İzmir and other cities. Based on the calculations, there are an average of 4196.33 nodes and 6140.9 edges in the districts of İzmir. Bornova, with the most nodes and edges, has 10223 nodes and 15772 edges, and Beydağ has only 427 nodes and 557 edges. The average number of nodes degree is 2.88, critical nodes is 680.6 and critical edges is 808.56. The average number and ratio of dead-end streets is 657.26 and 16.88%, the average number of edges of the minimum spanning trees is 4195.33 and the average length of these trees is 591493.84 m. In Karabağlar district 61.64% and in Kiraz district, 78.49% of the edges were used in the minimum spanning tree. The average number of independent paths between two randomly selected locations is 1.91.

Keywords: Road and Street Network, Open Street Map, Graph Theory, Complex Networks

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Road and street networks are the world's oldest transportation infrastructures that significantly affect people's daily activities. Road networks are considered as an important infrastructures and play an important role in the economy, development, disaster management, and urban development. The road networks of large cities are very dynamic, and quite complex which complicates the comprehensive analysis of these networks. We can model the road network of a city as a graph. In this model, edges represent streets and avenues and nodes show the

intersections of streets. In this graph model, the weight of each edge can be the length of the relevant street. In a city's street graph, various graph theory-based metrics such as the number of nodes, the average size of edges, the average degree of graph, the average number of independent paths between random nodes, and the size of the minimum cut set may provide very useful information about the urban structure of the city and contribute to urban development.

In this paper, we study the efficiency, topological structure, post-disaster reliability, and effects of the street network of İzmir districts on social life. The highway, street, and road networks of

the districts are converted into a graph using the Open Street Map platform and the OSMNX library. After creating graph models, the values of 17 different features are calculated. From the obtained data, the transportation efficiency and urban development status of the districts are evaluated.

Materials and Methods

In the first step, the street networks of Izmir districts were created using the Open Street Map platform and Python language. The collected data were converted from Line Strip format to a graph model using OSMNX library. After creating the graph models, the necessary algorithms were implemented in Python language. NetworkX library was used to run the basic algorithms and show the results on the graphical maps.

For each road network model, a set of 17 different features including the number of nodes and edges, average node degree, nodes with degree 1, node degree distribution, average degree of k-hop neighbors, total and average edge length, diameter, and radius of the graph, node and edge connectivity, eccentricity, including closeness centrality, degree centrality, clustering coefficient, minimum spanning tree, critical nodes and edges, minimum connected dominant set, k-shortest paths between nodes and shortest paths passing through selected locations were calculated

Results and Discussion

Among the districts, Bornova has the highest number of nodes and edges with 15772 edges and 10223 nodes, and Beydağ has the lowest number of nodes and edges with 557 edges and 427 nodes. Thus, Bornova can be considered as the district with the most streets and avenues and Beydağ is the district with the least number of streets and avenues. Karabağlar and Kiraz districts have the highest and lowest average node degrees with an average of 3.24 and 2.55 node degrees, respectively. The average node degree can show the density of districts since more streets intersect with each other in the road network. According to the node degree distribution, Karabağları, Konak Bayraklı, Karşıyaka, and Bornova districts are the most dense and congested districts, respectively, and Kiraz, Beydağ, Kemalpaşa and Kınık are the least dense districts.

Kiraz district, with a dead-end street rate of 27.05%, and Karabağlar district, with a dead-end street rate of 7.17%, are the districts with the highest and lowest dead-end street percentages, respectively. The percentage of dead-end streets can be a feature that indicates the transportation efficiency of districts. Karabağlar, Konak Bayraklı, Karşıyaka, and Bornova districts have the lowest, and Kiraz, Beydağ, Kemalpaşa, Bayındır, and Menderes districts have the highest percentage of dead-end streets, respectively. The 5 districts with the highest total edge length were determined as Bergama, Menderes, Bornova, Kemalpaşa, and Urla, and the 5 districts with the shortest total edge length were determined as Balçova, Beydağ, Narlıdere, Güzelbahçe and Karşıyaka, respectively.

According to calculations, the shortest road passing through all edges in Bergama, Menderes, Kemalpaşa, Urla, and Bornova districts is longer than in other districts. Beydağ, Balçova, Narlıdere, Güzelbahçe, and Karşıyaka were determined as the districts with the shortest paths passing through all edges, respectively. A higher clustering coefficient indicates more dense regions that can be separated from each other in that district. The density of districts with small clustering coefficients can be more evenly distributed throughout the district. According to the calculations, Çiğli, Selçuk, Güzelbahçe, Karaburun, and Konak have the highest clustering coefficients and Kemalpaşa, Kiraz, Ödemiş, Narlıdere, and Torbalı have the smallest clustering coefficients.

Removing a critical node or edge from the graph disconnects some parts of the graph from the others. Therefore, having fewer critical nodes and edges in road networks can increase transportation efficiency. According to the calculations, Menderes, Bergama, Urla, Dikili, and Bornova have the highest critical nodes and edges, and Beydağ, Balçova, Selçuk, Narlıdere and Güzelbahçe have the least critical nodes and edges. Dominating nodes can be considered as nodes that form backbone paths in transportation networks. A low number of dominant nodes may indicate shorter backbone paths. According to the calculations, Karabağlar, Konak, Bayraklı, Karşıyaka, and Torbalı have the highest dominating nodes percentage, and Bayındır, Kiraz, Kınık, Kemalpaşa and Menderes have the least dominating nodes percentage.

Conclusion

Based on the calculations on the graph models, there are an average of 4196.33 and 6140.9 edges in the districts of Izmir. The district with the most nodes and edges is Bornova (10223 nodes and 15772 edges) and the district with the fewest nodes and edges is Beydağ (427 nodes and 557 edges). The average node degree of all districts is 2.88, Karabağlar has the highest average node degree with a 3.24 node degree, and Kiraz has the lowest average node degree with a 2.54 node degree. In this context, Bornova, Karşıyaka, Bayraklı, Konak, and Karabağlar were determined as the most populated districts with the most streets or avenues, and Beydağ, Kiraz, Bayındır, Kınık, and Narlıdere were determined as the districts with the fewest streets and avenues.

There are an average of 657.26 dead-end streets in the İzmir districts. On average, the number of dead-end streets is 16.88% of all the streets and avenues. In Kiraz district, which contains the highest number of dead-end streets, 27.05% of the streets are dead-end, and in Karabağlar district, which contains the least number of dead-end streets, 7.17% of the streets are dead-end. In districts with a high percentage of dead-end streets, the number of alternative paths may be low.

The average number of edges in the minimum spanning trees of the districts is 4195.33 and the average length of these trees is 591493.84 m. In Bergama district, which has the longest spanning tree, the length of the spanning tree is 1415206.82 m (6654 edges), and in Balçova district, which has the shortest spanning tree, the length of the spanning tree is 134833.13 m (1453 edges). There are an average of 680.6 critical nodes and 808.56 critical edges in Izmir districts. Beydağ district has 110 critical nodes and 136 critical edges which is the least critical nodes and edges among the districts. Menderes district has 1604 critical nodes and 1937 critical edges which is the highest critical nodes. In terms of percentage, 7.47% of the nodes in the Karabağlar district, which has the least critical node percentage, and 28.02% of the nodes in the Kiraz district, which has the highest critical node percentage, are critical nodes.

There are an average of 1.91 independent paths between two randomly selected locations in the road network of Izmir districts. A high number of independent paths indicates more alternative paths between locations which may increase transportation efficiency. In Bayındır district, which has the least independent paths, there are an average of 1.3 independent paths between locations. In Konak and Karabağlar districts, which contain the highest number of independent paths, there are an average of 2.52 and 2.58 independent paths between locations.

The average eccentricity of Izmir districts is 64.92 which means that there are an average of 62.92 streets or avenues between two randomly selected locations in the districts. In the Beydağ district, which has the least average eccentricity, there are an average of 27.8 streets or avenues between two randomly

selected locations. In Çeşme and Dikili districts, which have the highest average eccentricity, there are an average of 104.66 and 107.1 streets or avenues between two random locations.

1. Giriş

Dünyanın en eski ulaşım altyapıları olan kentsel cadde ve sokak ağları, eski zamanlardan günümüze kadar, uygarlaşmayı, modernleşmeyi, sürdürülebilir kalkınmayı ve insanların günlük faaliyetlerini önemli derecede etkilemiştir. Karayolu, cadde ve sokak ağları, ülkelerin en önemli altyapılarından birisi olarak, coğrafi, kentsel planlama, ekonomi, fizik, mühendislik, ulaşım ve bilişim teknolojileri gibi çeşitli alanlarda araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Sokak ve cadde ağları gerçek hayatta insanların her gün karşılaştığı, trafik, yoğunluk, ulaşım verimliliği, hava kirliliği, sosyal hizmetler ve kamu kuruluşlarına erişim gibi çeşitli problemleri ve genel olarak yaşam kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Ülkelerin önemli altyapılarından birisi sayılan bu ağlar, ekonomi, kalkınma, afet yönetimi ve kentsel gelişimde önemli rol almaktadırlar. Ancak büyük şehirlerin karayolu, cadde ve sokak ağları çok büyük, dinamik ve oldukça karmaşık olduğundan dolayı bu ağların kapsamlı analizi ve doğru bilgilerin üretimi zor ve uzun süren bir işlem olabilir. Son yıllarda Open Street Map, Google Map ve Yandex Map gibi platformlarda biriken ve her geçen gün artan veriler, şehirlerin topolojik yapılarının daha detaylı analizi ve incelemesine yardımcı olarak dünyanın büyük şehirlerinde kritik ve faydalı tespitlere sebep olmuştur.

Bir şehrin karayolu, cadde ve sokak ağlarını çizge olarak modelleyebiliriz. Bu modelde kenarlar, sokak ve caddeleri temsil ederken, düğümler sokaklar ve caddelerin kesişim noktaları olabilir. Çizge modelinde her kenarın ağırlığı ilgili cadde veya sokağın uzunluğu olabilir. Böylece bir şehrin cadde ve sokak çizgesinde, düğümlerin sayısı, ortalama kenarların boyutu, çizgenin ortalama derecesi, rastgele düğümler arasında ortalama bağımsız patikaların sayısı, ve minimum kesim kümesinin boyutu gibi veriler şehrin kentsel yapısıyla ilgili çok yararlı bilgiler vererek, kentsel gelişim (yeni yol, köprü veya geçit planlama) kaynak dağıtımı (ATM, sağlık merkezi, okul, alışveriş merkezleri, otopark, toplu ulaşım araçları, kamera, vs), rota planlama (bisiklet turu, turistik gezi, atık toplama, kargo dağıtımı, ilaçlama, vs), salgın ve afet yönetimi (izolasyon, karantina, toplanma noktaları, vs) gibi bir çok yönetimsel kararların verimliliğini artırabilir.

Çizge teorisi ve ağ bilimi, gerçek dünyada çeşitli varlıklar arasında karmaşık ilişkileri ve kombinasyonları matematiksel olarak modelleyebilen en temel kavramlardan birisidir. Genel olarak, bir çizge $G(V,E)$ olarak gösterilir. V düğümler kümesi ve E düğümler arası bağlantılar (kenarlar) kümesidir. Günümüzde çizge teorisi ve ağ bilimi, başta bilgisayar bilimleri olmak üzere, sosyoloji, ekonomi, biyoloji ve ulaşım gibi çeşitli alanlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Soyut çizge teorisinde, düğümlerin arasında herhangi bir model, desen veya bağlılık olasılığı bulunmazken, gerçek dünyadan baz alınan yapıların çizge modellerinde önemli ortak özellikler görülebilir. Karmaşık ağlar adıyla bilinen ne tamamen düzenli ve ne tamamen rastgele bu özel çizgeler, İnternet yapısı, web sayfalarının arasındaki bağlantılar, sosyal ilişkiler, salgın yayılımı ve kentsel caddelerin modellerinde ortaya çıkabilir. Rastgele çizgelerde bulunmayan, karmaşık ağların önemli özellikleri arasında, üstel derece dağılımı (İng. high degree distribution), yüksek kümeleme katsayısı (İng. clustering coefficient), topluluk (İng. community) ve hiyerarşik (İng. hierarchical) tabanlı yapılar yer almaktadır. Karmaşık ağlar, yapıları ve büyüme davranışlarına göre ölçsüz

ağları (İng. scale-free networks) veya küçük dünya ağları (İng. small-world networks) gibi alt gruplara ayrılmaktadırlar.

Bu çalışmada İzmir ilçelerinin cadde ve sokak ağının verimliliği, topolojik yapısı, afet sonrası güvenilirliği ve toplumsal yaşamda etkileri incelenip, çizge teorisinde çeşitli kavramlara dayanarak, ilçelerin ulaşım güvenilirliği değerlendirilmiştir. İlçelerin karayolu, sokak ve cadde ağları, Open Street Map platformu [1] ve OSMNX kütüphanesi [2] aracılığıyla çizgeye dönüştürülüp, caddeler, sokaklar ve karayolları kenar ve kesişim noktaları düğüm olarak var sayılmıştır. Her caddenin uzunluğu ilgili kenarın ağırlık olarak atanmıştır.

Çizge modelleri oluşturduktan sonra her model için, düğüm ve kenar sayısı, ortalama düğüm derecesi, 1 derecesine sahip düğümler, düğüm derece dağılımı, k zıplama komşuların ortalama derecesi, toplam ve ortalama kenar uzunluğu, çizgenin çapı ve yarıçap, düğüm ve kenar bağlılığı, dış merkezlilik, yakınlık merkezlilik, derece merkezlilik, kümeleme katsayısı, kapsayan en küçük ağaç, kritik düğümler ve kenarlar, en küçük bağlı hakim küme, düğümler arası en kısa k patika ve seçili konumlardan geçen en kısa patikalar olmak üzere toplam 17 farklı özelliğin değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden ilçelerin ulaşım verimliliği ve kentsel gelişme durumu analiz edilmiştir. Örneğin, İzmir ilçelerinin omurga caddeleri, çıkmaz sokaklarının sayısı ve yoğunluğu, konumlar arası alternatif yolların sayısı, en kısa yolların uzunluğu, seçili konumlardan geçen en kısa yollar, merkezi konumlar, kritik caddeler ve kavşaklar ve en sık kullanılan önemli konumlar gibi çeşitli veriler üretilmiştir.

2. Literatür Özeti

Dünya genelinde farklı araştırmalar kapsamında, çeşitli şehirlerin topolojik yapıları ve ulaşım ağları, çizge teorisi ve karmaşık ağlar kavramları açısından analiz edilip, yararlı sonuçlar üretilmiştir. Örneğin [3]'de Amerika'nın 40 büyük şehrinin sokak ve cadde ağlarının topolojik yapıları incelenerek bu şehirlerin küçük dünya ağ oldukları, caddelerin %80'ninin uzunluğu ortalama kısa olduğu, %20'sinin uzunluğu ortalama uzun olduğu, ve %1'den daha az caddenin omurga olabileceği tespit edilmiştir. [4]'de İngiltere ve California şehirlerinin sokak ve cadde çizgeleri üzerinde kümeleme algoritmalarının uygulamasıyla bu şehirlerin sınırları belirlenmiştir. Louisiana eyaletinde bulunan Baton Rouge kentinin çizgesine yapılan analizler çizgenin merkezi düğümleri ile şehrin kalabalık bölgeleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur [5]. [6]'da Avrupa ve Amerika'nın 6 kentinin sokak çizgesi üzerinde çeşitli analizler yapılarak bu kentlerin ortalama patika uzunlukları, ortalama dereceleri ve kümeleme katsayıları hesaplanarak genel topolojilerinin küçük dünya tanımlarına uydukları tespit edilmiştir. [7] 'de Amerika'nın 27000 sokak ve caddesinden üretilen ve 30 büyükşehri içeren çizgelerin üzerinde, düğüm sayısı, sokak sayısı, ortalama sokak uzunluğu ortalama kümeleme katsayısı, ortalama düğüm derecesi ve düğüm ve kenar yoğunluğu gibi çeşitli istatistiksel analizler yapılmıştır. [8]'de, dünya üzerinde 15 farklı şehrin çizge modelleri 4 farklı topoloji modeli altında sınıflandırıp, her modelin avantajları ve zayıflıkları tartışılmıştır.

Türkiye'deki şehirlerin sokak ve cadde ağları üzerinde, çizge teorisine dayanan araştırmaların sayısı sınırlıdır. [9]'da İstanbul'un sokak ve cadde ağ modeli çizge şeklinde modellenerek sadece toplam düğüm ve kenar sayısı

hesaplanmıştır. Mersin ilinin Yenişehir ilçesinde atık toplama araçlarının patika planlaması için [10]'da ilçenin sokak ağları bir çizge olarak modellenip, en iyi rotalar belirlenmiştir. [11]'de Muğla ilinin cadde ve sokak ağlarının şekillenmesini etkileyen fiziki ve beşeri şartlar incelenmiştir. [12]'de yapılan çalışmada coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleriyle Uşak Merkez ilçesinde alternatif atık depolama alanları belirlenmiştir. [13]'de İzmir Bostanlı ve Balıklı köyü mahallelerinin topolojik yapıları incelenerek resmi ve gayri resmi yapılanmaların arasındaki fark, çizge teorisinin 5 farklı merkezîyet endeksi açısından karşılaştırılmıştır. [14]'da Ödemiş ve [15]'de Turgutlu ilçesinde Milli Eğitim Bakanlığı bünyesinde eğitim veren devlet okullarının erişilebilirliği ve alternatif yolların mesafeleri incelenmiştir. Benzer bir çalışmada Uşak Merkez ilçesinde sağlık merkezlerinin erişilebilirliği mesafe açısından incelenmiştir [16]. [17]'de Türkiye'nin bazı şehirlerinin sınırlı bölgeleri resimler ve manuel oluşturulan çizge modelleri aracılığıyla incelenip, düğüm sayısı, düğüm yoğunluğu ve çıkmaz sokakların yoğunluğu dünyada bazı diğer şehirlerle karşılaştırılmıştır. [18]'de Ankara'nın 2007-2017 yılları arasındaki sokak çizgeleri, düğüm sayısı, ortalama sokak uzunluğu ve sokakların ortalama uzunluğu açısından incelenerek, Ankara'nın gelişme hızı değerlendirilmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarımıza göre, İzmir ili için hedeflenen 17 özellik daha önce hiçbir çalışmada hesaplanmamıştır. İzmir ili ve ilçelerinin ulaşım verimliliği ve güvenilirliği hakkında önemli tespitlere yol açabilen bu özellikler ilk defa bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Denklem ifadelerinden önceki ve sonraki paragraflar arasında boşluk olmamalıdır.

3. Yöntem

Çalışmanın ilk aşamasında Open Street Map [1] platformu ve Python dili kullanılarak, İzmir ilçelerinin cadde ve sokak ağları ve mekânsal koordinatları belirlenmiştir. Elde edilen veriler OSMNX [2] kütüphanesi aracılığıyla çizgi şeridi (İng. Line Strip) formatından çizge modeline dönüştürülmüştür. Çizge modeli oluşturulduktan sonra hedeflenen özellikleri hesaplamak için gerekli algoritmalar Python dilinde uygulanmıştır. Elde edilen çizgeler ve bu çizgeler üzerinde çizilmesi gereken simgeler veya işaretler için NetworkX kütüphanesi kullanılmıştır.

3.1. Çizge Modellerin Oluşturulması

Materyal Open Street Map platformunda hedef bölgenin sokak ve cadde haritası bölgenin benzersiz ismi (örneğin "İzmir-Bornova") veya enlem boylam koordinatlarından oluşturulabilir. Her ilçe için elde edilen harita verileri OSMNX kütüphanesi aracılığıyla çizge modeline dönüştürülmüştür. Çizge modelini oluşturmak için geliştirilen Python kodunun özeti aşağıda verilmiştir:

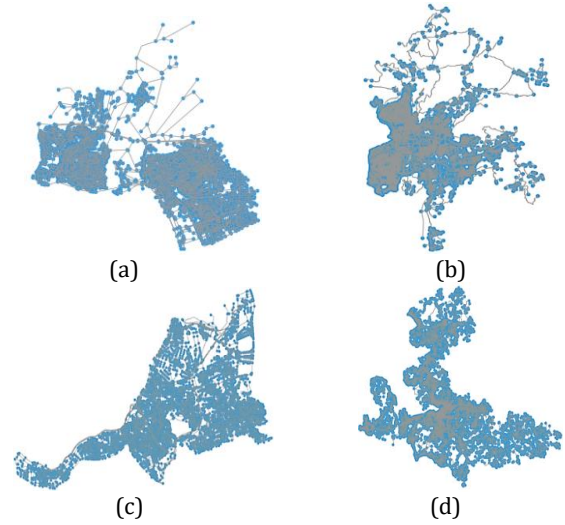
```
place_name = "İzmir Bornova"
print("Loading data from network.. ")
graph=osmnx.graph_from_place(place_name,
    which_result=1, simplify=False);
print("Projecting.. ")
graph=osmnx.project_graph(graph)
print("Simplifying.. ")
graph=osmnx.simplification.simplify_graph(graph,
    remove_rings=True)
print("Consolidate intersections.. ")
G=osmnx.simplification.consolidate_intersections(
    graph,tolerance=10,rebuild=True,dead_ends=True)
gm = networkx.Graph()
for u in G.nodes:
    gm.add_node(u,
        pos=(G.nodes[u]['x'],G.nodes[u]['y']))
```

```
for u,v,attr in G.edges(data=True):
    if u!=v:
        gm.add_edge(u,v,length=attr['length'])
print("N:"+str(len(gm.nodes))+
    "E:"+str(len(gm.edges)))
```

Yukarıda verilen kodda, ilçenin sokak ve cadde ağı osmnx.graph_from_place fonksiyonu aracılığıyla internetten indirilir ve çizgi şeridi formatında graph değişkeninde tutulur. project_graph fonksiyonu sokak ağını 2 boyutlu bir kartezyen düzleme yansıtır ve bu yansıtılan alanda her düğüme ve kenara bir konum atar. simplify_graph fonksiyonu aracılığıyla kesişim noktasında bulunmayan düğümler çizgeden elenir ve consolidate_intersections fonksiyonu aracılığıyla çok yakın düğümler birleştirilir. networkx.Graph() fonksiyonu boş bir çizge modeli oluşturur ve çizgi şeridinde bulunan her düğüm ve kenar için çizge modeline eş değer bir düğüm ve kenar eklenir. Kodun sonunda çizgede bulunan düğüm ve kenar sayısı ekrana yazdırılır.

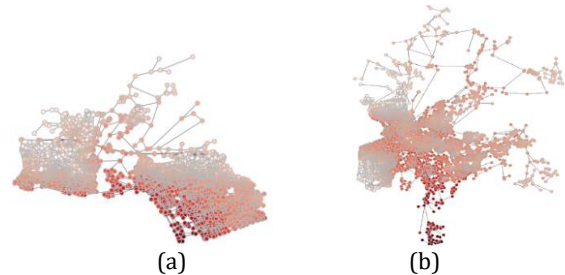
OSMNX kütüphanesinden elde edilen her ilçenin çizge modelinde sokak ve caddelerin kesiştiği noktalara bir düğüm eklenmiştir. Çizgede çok sayıda gereksiz düğümlerin bulunmasını önlemek için yakınlığı 10 metreden düşük olan düğümler tek düğüm olarak birleştirilmiştir. Open Street Map platformundan elde edilen İzmir-Bayraklı, İzmir-Bornova ve İzmir-Konak ilçelerinin sokak ve cadde ağları, sırasıyla Şekil 1.a, 1.b ve 1.c'de ve İzmir ilinin sokak ve cadde ağı Şekil 1.d'de gösterilmiştir.

Şekil 2 bu ağlar için üretilen eşdeğer çizge modellerini göstermektedir. Şekil 2'de her düğümün rengi o düğümden çizgenin en alt düğüme olan en kısa yolun uzunluğuna göre seçilmiştir. Çizgelerde en alt düğümden daha uzak olan düğümlerin rengi daha açık olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. a) İzmir Bayraklı, b) İzmir Bornova, c) İzmir Konak, d) İzmir'in sokak ve cadde ağları.

Figure 1. Road networks of a) İzmir Bayraklı, b) İzmir Bornova, c) İzmir Konak, d) İzmir.





Şekil 2. a) Bayraklı, b) Bornova, c) Konak, d) İzmir'in sokak ve cadde çizgeleri.

Figure 2. Graph models of a) Bayraklı, b) Bornova, c) Konak, d) İzmir.

3.2. Kriterler

Çizge modelleri oluştuktan sonra her model için, düğüm ve kenar sayısı, ortalama düğüm derecesi, 1 derecesine sahip düğümler, düğüm derece dağılımı, k zıplama komşuların ortalama derecesi, toplam ve ortalama kenar uzunluğu, çizgenin çapı ve yarıçap, düğüm ve kenar bağıllığı, dış merkezlilik, yakınlık merkezlilik, derece merkezlilik, kümeleme katsayısı, kapsayan en küçük ağaç, kritik düğümler ve kenarlar, en küçük bağlı hakim küme, düğümler arası en kısa k patika ve seçili konumlardan geçen en kısa yollar olmak üzere toplam 17 farklı özellik hesaplanmıştır.

Bu bölümün devamında n ve m sırasıyla çizgede bulunan toplam düğüm ve kenar sayısını göstermektedir. Hedeflenen kriterlerin detayları aşağıda verilmiştir:

1-Düğüm ve kenar sayısı (İng. Node and edge count): Çizgede bulunan düğüm ve kenar sayısı, il ve ilçelerin sokak ve cadde ağının büyüklüğü, yoğunluğu ve gelişme durumlarıyla ilgili önemli bilgiler verebilir. Çizgede bulunan düğümler, kentin kavşak, meydan veya caddelerin keşişim noktalarının sayısını gösterirken, çizgede bulunan kenar sayısı kentin sokak ve cadde sayısını belirleyebilir.

2-Ortalama düğüm derecesi (İng. Average node degree): Bir düğümün derecesi o düğüme bağlı kenarların sayısıdır. Ortalama düğüm derecesi yüksek olan kenetlerde daha fazla sokak ve caddenin aynı noktada birleştiği söylenebilir. Böylece, çizgenin ortalama düğüm derecesi caddeler ve sokakların yoğunluğu ve ulaşım verimliliği ile ilgili bilgi verebilir.

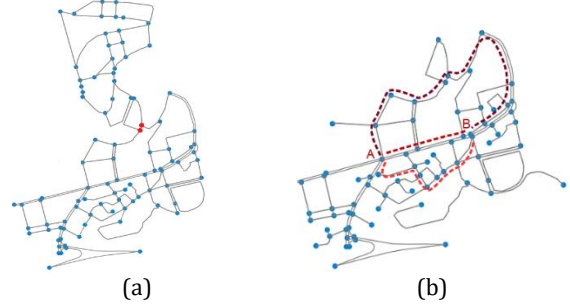
3- 1 derecesine sahip düğümler (İng. Nodes with degree 1): Sokak ağlarında derecesi 1 olan düğümler, çıkmaz sokakları göstermektedir. Bu düğümlerin bulunması, çıkmaz sokakların sayısı, konumu, uzunluğu ve yoğunluğunu gösterebilir.

4-Düğüm derece dağılımı (İng. Node degree distribution): Bir ağın derece dağılımı, o ağda d derecesine sahip düğümlerin yüzdesidir. Farklı d değerlerine göre analiz edilip görselleştirildikten sonra, bu özellik şehirlerin ulaşılabilirliği ve topolojik yapılarıyla ilgili önemli bilgiler verebilir.

5- k zıplama komşuların ortalama derecesi (İng. k -hop neighborhood degree): Her düğümün k zıplama uzaklıktaki komşularına ait derecelerin ortalaması ne kadar fazlaysa o düğümün etrafı o kadar kalabalık ve yoğun olabilir. Bu özellik ilçenin farklı konumlarının, ulaşılabilirliği, yoğunluğu, olası kaynak ihtiyacı ve düzen analizinde yararlı olabilir.

6-Toplam ve ortalama kenar uzunluğu (İng. Total and average edge length): Kenarların toplam ve ortalama uzunluğu, sokak ve cadde ağlarının büyüklüğü ve topolojik yapısıyla ilgili yararlı bilgiler verebilir. Kenarların toplam uzunluğu ne kadar fazlaysa, kentte daha fazla cadde ve sokak bulunabilir. Bu nedenle, toplam ve ortalama kenar uzunluğu kentin ulaşım altyapısının gelişimi ile ilgili bilgi verebilir.

7- Çap ve yarıçap (İng. Diameter and radius): Bir çizgenin çapı, en uzak düğümlerin arasındaki en kısa patikanın uzunluğudur. Bir çizgenin yarıçapı, tüm düğümlerin en uzak komşularıyla aralarındaki bulunan en kısa mesafedir. Çap ve yarıçap ulaşım ağların büyüklüğü, verimliliği ve topolojik düzeniyle ilgili bilgi verebilir.



Şekil 3. a) Örnek bir kesim kümesi, b) İki konum arasında en kısa 3 patika.

Figure 3. a) A sample cut set, b) 3 shortest paths between two locations.

8- Düğüm ve kenar bağıllığı (İng. Node & edge connectivity): Bir çizgenin düğüm bağıllığı, o çizgenin bağıllığını bozmak için çıkarılması gereken en az düğüm sayısıdır. Benzer bir şekilde kenar bağıllığı bir çizgenin bağıllığını bozmak için çıkarılması gereken en az kenar sayısıdır. Bu kriterler sokak ve cadde ağların ulaşım güvenliği ve izolasyonu (örneğin bir afet veya salgın sırasında) ilgili önemli bilgiler verebilir. Örneğin Şekil 3.a'da İzmir Karşıyaka Mustafa Kemal mahallesinin çizge modeli gösterilmiştir. Düğüm ve kenar bağıllığı 2 olan bu çizgede iki kesim düğümü kırmızı renk ile gösterilmiştir. Bu düğümler kapanırsa mahallenin üst ve alt bölgelerinin bağlantısı tamamen kesilir. Böyle düğümler ulaşım ağında dar boğazların tespitinde de yardımcı olabilirler.

9- Dış merkezlilik (İng. Eccentricity): Her düğümün dış merkezliği o düğüme en uzak düğümün en kısa mesafedir. Dolayısıyla çizgenin ortasındaki düğümlerin dış merkezliği düşük ve çizgenin dış taraflarında bulunan düğümlerin bu değeri yüksek olur. Bu değer ağın genel yapısının analizi, önemli konumların tespiti, ilçenin tüm noktalarına en yakın merkezi konumların tespiti ve yeni yolların yapımı için yararlı bilgiler verebilir. u ve v düğümlerin arasındaki en kısa mesafeyi $d(u,v)$ ile göstersek, her düğümün dış merkezliği aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$ec(v) = \max_{u \in G} d(v, u) \quad (1)$$

Tüm düğümlerin dış merkezliği hesaplandıktan sonra, çizge için bir ortalama dış merkezliği hesaplanabilir.

10- Yakınlık merkezlilik (İng. Betweenness centrality): Bir düğümün yakınlık merkezliliği, o düğümden geçen en kısa patikaların yüzdesidir. σ_{st} , s ve t düğümlerin arasındaki en kısa yolların sayısı ve $\sigma_{st}(v)$ s ve t düğümlerin arasındaki v 'den geçen en kısa yolların sayısı olduğunu varsayarak, v düğümünün yakınlık merkezliliği aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$bc(v) = \sum_{s \neq t \neq v} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (2)$$

Dolayısıyla yüksek yakınlık merkezliğine sahip düğümlerden daha fazla kısa yol geçtiği için bu düğümlerin ulaşım ağında önemi daha fazla olup, örneğin aktarma merkezleri, sağlıklı merkezleri, kamu hizmetleri, akaryakıt istasyonları, alışveriş

merkezleri veya denetim noktalarının konumlandırmasına daha uygun olabilirler.

11-Derece merkezlilik (İng. Degree centrality): Bir düğümün derece merkezliliği o düğüme bağlı kenar sayısıdır. Bir $G(V, E)$ çizgenin derece merkezliliği aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$dc(G) = \sum_{v \in G} \frac{\deg(v^*) - \deg(v)}{(|V| - 1)(|V| - 2)} \quad (3)$$

Yukarıdaki formülde $\deg(v)$, v düğümünün derecesi, v^* en yüksek dereceye sahip düğüm ve $|V|$ düğüm sayısıdır. Ağ büyük bir alana yayılırsa, derece merkezliliğinin düşük olma ihtimali yüksek olabilir. Yoğun ve merkeze sıkışık ağlarda yüksek derece merkezliliğine sahip düğümlerin sayısı baskın olabilir. Dolayısıyla bu kriteri kullanarak, ilçelerin yoğunluk ve sıkışıklığı tahmin edilebilir.

12- Kümeleme katsayısı (İng. Clustering coefficient): Çizge teorisinde kümeleme katsayısı düğümlerin birlikte kümelenme eğilimini gösteren bir ölçüdür. Başta sosyal ağları olmak üzere gerçek dünya ağlarında düğümlerin genelde sıkı ama küçük gruplar oluşturma eğiliminde oldukları görülmektedir. Yönsüz bir $G(V, E)$ çizgede bulunan her düğümün lokal kümeleme katsayısını aşağıdaki formülden hesaplayabiliriz:

$$cc(v) = \frac{2 \times |(u, w) \in E : u, w \in \Gamma_v|}{|\Gamma_v| \times (|\Gamma_v| - 1)} \quad (4)$$

Yukarıdaki formülde $|\Gamma_v|$, v düğümünün komşu sayısıdır. Bir düğümün kümeleme katsayısı ne kadar yüksekse o düğümün komşu düğümleri ile kümelenme potansiyeli o kadar yüksektir. Düğümlerin lokal kümeleme katsayısı hesaplandıktan sonra çizgenin genel kümeleme katsayısı aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$cc(G) = \frac{1}{|V|} \sum_{v \in V} cc(v) \quad (5)$$

Bir çizgenin ortalama kümeleme katsayısı ne kadar yüksekse o çizgede bulunan düğümlerin aynı kümede yer alma ihtimali o kadar yüksektir. Kümeleme katsayısı sokak ve cadde ağlarında ulaşım ağının yoğun ve iç içe bölgelerini gösterebilir.

13- En küçük kapsayan ağaç (İng. Minimum spanning tree): Bir çizgenin, en küçük kapsayan ağacı o çizgenin tüm düğümlerini birbirine bağlayan ve en az uzunluğa sahip olan ağaçtır. En küçük kapsayan ağaçlar sokak ve cadde ağlarıyla ilgili yararlı bilgiler verebilirler. Bir ilçenin en küçük kapsayan ağacını bularak o ilçenin ulaşım verimliliği ve kentsel gelişimi değerlendirilebilir. En küçük kapsayan ağaçlar rota planlama, kaynak atama ve yeni yolların tasarımında kullanılabilirler. İlçelerin en kısa kapsayan ağaçları bulunup, bu ağaçların büyüklüğü ve yapısı (derece, yaprak sayısı, derinlik, vs) karşılaştırılmıştır.

14- Kritik düğümler ve kenarlar (İng. Critical nodes and edges): Bir çizgeden, kritik düğüm veya kenarları çıkardığımız zaman, çizgenin, en kısa yol uzunluğu, bağlılığı veya bağlı bileşenlerinin sayısı değişir. Kritik düğümlerin sayısı bir çizgede ne kadar fazlaysa o çizge beklenmeyen olaylardan daha fazla etkilenebilir. Sokak ağlarında kritik düğümlerin bulunması afet, kaza, salgın veya olası krizlerde önemli olabilen konumları veya yolları belirleyebilir.

15- En küçük bağlı hâkim küme (İng. Minimum connected dominating set- CDS): Bir çizgenin hâkim kümesi, öyle bir düğüm kümesidir ki, çizgede bulunan her düğüm ya hâkim kümenin üyesidir veya hâkim kümede yer alan bir düğümün komşusudur. Hâkim olmayan tüm düğümleri çizgeden çıkardıktan sonra çizge hala bağlılığını koruyorsa, hâkim küme bir bağlı hâkim kümedir (CDS). En az sayıda düğüm içeren bağlı

bir hâkim küme, çizgenin en küçük bağlı hâkim kümesidir (Minimum CDS). En küçük hâkim kümelerin önemli uygulamalarından birisi ağların omurgasını belirlemektir. En küçük bağlı hâkim küme ağı tüm düğümlerini birbirine bağlayan en küçük yapıdır. Özellikle, d -CDS ile tanımlanan d zıplama en küçük bağlı hâkim kümeler (hâkim olmayan her düğümün en fazla d zıplama uzaklıkta bir hâkim komşusu olmalıdır) çok sayıda düğüm içeren ağlarda ana omurgayı net bir şekilde gösterebilirler. Dolayısıyla sokak ve cadde ağlarında d zıplama en küçük bağlı hâkim kümeleri bularak, şehrin tüm noktalarını birbirine bağlayan ana omurga yollar bulunabilir.

16- Düğümler arası en kısa k patika (İng. k -shortest path): Sokak ve cadde ağlarında konumlar arası bağımsız rotaların sayısı ne kadar yüksek olursa, ulaşım güvenliği ve trafik akışı o kadar iyi olur zira bu yolların herhangi biri yoğun trafik, tadilat, kaza ve afet gibi sebeplerden dolayı kapanırsa alternatif yollar tercih edilebilir. Düğümler arası en kısa k patika probleminde çizgenin tüm düğümleri arasında en kısa k bağımsız (ortak düğüm veya kenar içermeyen) patika bulunur. Bir şehrin ortalama k değeri ve en kısa patikaların ortalama uzunluğu o şehrin ulaşım güvenliği ve verimliliğinin bir göstergesi olabilir. k değeri ne kadar fazlaysa konumlar arasında alternatif yolların sayısı da o kadar fazla olur. Ayrıca patikaların uzunluğu ne kadar düşürülürse konumların arasında ulaşım zamanı o kadar düşük olabilir. Örneğin Şekil 3.b'de bir cadde ağında A ve B noktaları arasında en kısa 3 bağımsız patika gösterilmiştir. Her ilçenin çizge modelinde, tüm düğümlerin arasındaki maksimum k değeri bulunmuştur. Elde edilen patikaların ortalama uzunlukları hesaplanarak ilçelerin ulaşım verimliliği karşılaştırılmıştır. Tespit edilen en kısa k patikalar en uygun alternatif patikaların analizi ve planlaması için kullanılabilir.

17- Seçili konumlardan geçen en kısa yol (İng. Route Inspection): Bir şehrin seçili caddelerinden geçen en kısa yol, rota planlama, bilgi yayma, ilaçlama, kargo dağıtımı ve gezi planlamaları gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. İlçelerin tüm caddelerinden geçen en kısa yolların uzunluğu bulunup, bu değerlerin ortalaması diğer ilçelerle karşılaştırılmıştır. Her ilçe için tespit edilen yolların ortalama uzunluğu ne kadar düşükse o ilçenin ulaşım verimliliği o kadar yüksek olabilir.

Yukarıda belirtilen özellikler tüm ilçeler için hesaplanmıştır. Ayrıca aynı kriterler diğer ülkelerden seçilen 5 gelişmiş büyük şehir için hesaplanıp, İzmir şehri ile karşılaştırılmıştır.

3.3. Algoritmalar

Çizge maddelerini oluşturduktan sonra, düğüm ve kenar sayısı, ortalama düğüm derecesi ve derecesi bir olan düğümler (1, 2 ve 3 numaralı kriterleri) doğrudan çizge modelinden hesaplanabilir. Düğüm derece dağılımını (4 numaralı kriteri) hesaplamak için önce çizgenin minimum ve maksimum dereceleri bulunup, bu iki değer arasında her bir tam sayı için, düğümlerin yüzde kaçının derecesi o değere eşit olduğu hesaplanmıştır. k zıplama uzaklıktaki komşu düğümlerin ortalama derecesini (5 numaralı kriteri) hesaplamak için, k değeri 2'den başlatılıp 7'ye kadar yükseltilmiştir. Her k değeri için, her düğümün k zıplama komşuları belirlenip bu komşuların ortalama derecesi hesaplanıp kaydedilmiştir. Daha sonra her k değeri için elde edilen ortalama derecelerin dağılımı hesaplanmıştır.

Çizge modelinde her kenarın ağırlığı o kenarın eşdeğer sokak veya caddenin uzunluğudur. Caddelerin uzunluğu Open Street Map platformundan alınmıştır. Toplam ve ortalama kenar uzunlukları (6 numaralı kriteri) hesaplamak için tüm kenarların ağırlığının toplamı kenar sayısına bölünebilir. Çizgenin çapı ve yarıçapını (7 numaralı kriteri) hesaplamak için Floyd Warshall [19] algoritması kullanılarak, tüm düğümler arasında en kısa

patikaların uzunluğu bulunabilir. Floyd Warshall algoritması $O(n^3)$ zaman karmaşıklığına sahip bir dinamik programlama algoritmasıdır.

Düğüm ve kenar bağlılığını (8 numaralı kriter) hesaplamak için sırasıyla [20] ve [21]'de sunulan vertex-connectivity (düğüm-bağlılık) ve edge-connectivity (kenar-bağlılık) algoritmaları kullanılmıştır. Henzinger algoritması ağda tüm düğümlerin arasında maksimum akışı bularak, düğüm bağlılığını tespit etmektedir. Stoer algoritması çizgenin düğümlerini sürekli birleştirip, her adımda çizgeden silinen kenarların minimum sayısını tutarak, çizgenin kenar bağlılığını hesaplamaktadır. Henzinger algoritmasının zaman karmaşıklığı $O(knm)$ (k çizgenin düğüm bağlılığı değeridir) ve Stoer algoritmasının zaman karmaşıklığı $O(nm)$ dir. 7 numaralı kriter için uygulanan Floyd Warshall [19] algoritmasında her düğüme hesaplanan en büyük değer o düğümün en uzun mesafesi veya Eccentricity değeridir (9 numaralı kriter).

Her düğümün Betweenness Centrality değerini (10 numaralı kriteri) bulmak için [22]'de sunulan Betweenness Centrality algoritması kullanılabilir. $O(nm)$ zaman karmaşıklığına sahip olan Brandes algoritması, tüm düğümler arasında en kısa patikaları bulup, her düğümden geçen en kısa patikaların sayısını hesaplamaktadır. Her düğümün derece merkezliği (11 numaralı kriter) o düğümün komşu sayısıdır. Çizgenin derece merkezliği düğüm sayısı ve her düğümün derece merkezliği değerinden, (3) numaralı formül aracıyla hesaplanabilir. Düğümler ve çizgenin kümeleme katsayısı (12 numaralı kriterler), (4) ve (5) numaralı formüller üzerinden hesaplanabilir. Çizgenin en küçük kapsayan ağacını (13 numaralı kriteri) bulmak için Prim [23] algoritması kullanılmıştır. $O(n^2)$ zaman karmaşıklığına sahip olan bu algoritma, tüm düğümler ağaca eklenene kadar, döngü oluşmamak kaydıyla en düşük ağırlığa sahip kenarları peş peşe seçip ağaca ekler.

Çizgenin kritik düğümler ve kenarlarını (14 numaralı kriteri) tespit etmek için derinlik öncelikli arama (İng. Depth First Search) veya genişlik öncelikli arama (İng. Breadth-First Search) kullanılabilir. Çizgede bulunan her düğüm sırayla çizgeden silip, çizgenin bağlı kalıp kalmadığı bir derinlik öncelikli aramayla kontrol edilebilir. Bir düğüm çizgeden silindikten sonra eğer çizge hala bağlı ise düğüm normal ve aksi takdirde kritik olarak işaretlenir. Kritik kenarları tespit etmek için benzer bir işlem tüm kenarlar için yapılmıştır. Böylece kritik düğümlerin tespiti $O(n^2)$ ve kritik kenarların tespiti $O(mn^2)$ zaman karmaşıklığıyla yapılmıştır. 15, 16 ve 17 nolu özelliklerin hesaplanması NP-Hard olduğu için bu özellikler yakınsama algoritmaları aracıyla hesaplanmıştır. En küçük bağlı hâkim kümeyi (15 numaralı kriteri) bulmak için [24]'de sunulan algoritma kullanılmıştır. Bu algoritma çizgedeki düğümleri siyah, beyaz ve gri düğümlere ayırır. Hâkim kümede bulunan düğümler siyah, hakim kümeden bir komşusu olan düğümler gri ve diğer (hakim kümede olmayan ve hakim kümede komşuları da bulunmayan) düğümler beyaz olarak işaretlenir. Zaman karmaşıklığı $O(n^2)$ olan bu algoritma, çizgede beyaz düğüm bulunduğu surece, gri düğümlerden birisini seçip rengini siyah yapar. Böylece o düğüm hâkim kümeye alınır ve onun komşuları gri olur. Her aşamada, en fazla beyaz komşuya sahip bir gri düğüm seçilir ve rengi siyah yapılır.

En kısa k patikayı (16 numaralı kriteri) bulmak için [25]'de sunulan dinamik programlama tabanlı algoritma kullanılmıştır. $O(m + n \log n + kn)$ zaman karmaşıklığına sahip olan bu algoritma s ve t düğümleri arasında en kısa k patikayı bulmak için, s 'den herhangi başka bir u düğümüne en kısa patikayı bulur. Daha sonra u düğümden t düğümüne en kısa k patikayı bularak, birleşen patikaların arasından en kısa k patikayı seçer. Seçili konumlardan geçen en kısa yolu (17 numaralı kriteri) bulmak

için [26]'da sunulan algoritma kullanılmıştır. $O(m^2)$ zaman karmaşıklığına sahip olan bu algorithmada önce Euler turları bulunur. Daha sonra hedef kenarlarından geçen ve bu turlara en yakın olan yolu tahmin etmeye çalışır. Tablo 1'de hedeflenen özellikler ve ilgili algoritmanın zaman karmaşıklığı gösterilmektedir.

Tablo 1. Uygulanan algoritmaların zaman karmaşıklığı.

Table 1. Time complexity of implemented algorithms.

	Özellik	Karmaşıklık
1	Node and edge count	$O(1)$
2	Average node degree	$O(n)$
3	Nodes with degree 1	$O(n)$
4	Node degree distribution	$O(n^2)$
5	k-hop neighborhood degree	$O(n^2)$
6	edge length	$O(m)$
7	Diameter and radius	$O(n^3)$
8	Node & edge connectivity	$O(knm)$ ve $O(nm)$
9	Eccentricity	$O(n^3)$
10	Betweenness centrality	$O(nm)$
11	Degree centrality	$O(n)$
12	Clustering coefficient	$O(n^3)$
13	Minimum spanning tree	$O(n^2)$
14	Critical nodes and edges	$O(n^2)$ ve $O(mn^2)$
15	Minimum CDS (Yakınsama)	$O(n^2)$
16	k-shortest path (Yakınsama)	$(m + n \log n + kn)$
17	Route inspection (Yakınsama)	$O(m^2)$

4. Bulgular

İzmir'in Aliağa, Balçova, Bayındır, Bayraklı, Bergama, Beydağ, Bornova, Buca, Çeşme, Çiğli, Dikili, Foça, Gaziemir, Güzelbahçe, Karabağlar, Karaburun, Karşıyaka, Kemalpaşa, Kınık, Kiraz, Konak, Menderes, Menemen, Narlıdere, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk, Tire, Torbalı ve Urla olmak üzere 30 ilçesi bulunmaktadır. Bu bölümde İzmir ilçeleri için hesaplanan kriterlerin değerleri sunulmuştur.

4.1. Topolojik Yapılar

Şekil 4 İzmir'in 15 ilçesinin sokak ve cadde ağı modelini göstermektedir (ilçeler rastgele seçilmiştir). Aliağa ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.a) 5440 düğüm ve 7777 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1224.6 km, caddelerin ortalama uzunluğu 157.46 m, ortalama düğüm derecesi 2.86, çıkmaz sokakların sayısı 821 ve ilçenin çapı 90, yarıçapı 45 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacının uzunluğu 680 km olarak tespit edilmiştir.

Balçova ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.b) 1454 düğüm ve 2169 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 246.5 km, caddelerin ortalama uzunluğu 113.65 m, ortalama düğüm derecesi 2.98, çıkmaz sokakların sayısı 213, ilçenin çapı 57, yarıçapı 29 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacının uzunluğu 560.8 km olarak tespit edilmiştir.

Buca ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.c) 8039 düğüm ve 12265 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1391.54 km, caddelerin ortalama uzunluğu 113.456 m, ortalama düğüm derecesi 3.051, çıkmaz sokakların sayısı 1018, ilçenin çapı 128, yarıçapı 66 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacının uzunluğu 760.12 km olarak tespit edilmiştir.

Bayraklı ilçesinin çizge modelinde 4487 düğüm ve 7138 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 590.04 km, caddelerin ortalama uzunluğu 82.662 m, ortalama düğüm derecesi 3.181, çıkmaz sokakların sayısı 414, ilçenin çapı 71, yarıçapı 39 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacının uzunluğu 289.02 km olarak tespit edilmiştir.

Bergama ilçesinin çizge modelinde 6655 düğüm ve 9059 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 2315.26 km, caddelerin ortalama uzunluğu 255.576 m,

ortalama düğüm derecesi 2.722, çıkmaz sokakların sayısı 1476, ilçenin çapı 129, yarıçapı 65 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 1415.2 km olarak tespit edilmiştir.

Beydağ ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.d) 427 düğüm ve 557 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 254.07 km, caddelerin ortalama uzunluğu 456.147 m, ortalama düğüm derecesi 2.6, çıkmaz sokakların sayısı 108, ilçenin çapı 34, yarıçapı 20 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 172.689 km olarak tespit edilmiştir.

Bornova ilçesinin çizge modelinde 10223 düğüm ve 15772 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1713.07 km, caddelerin ortalama uzunluğu 108.615 m, ortalama düğüm derecesi 3.085, çıkmaz sokakların sayısı 1193, ilçenin çapı 101, yarıçapı 51 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 914.23 km olarak tespit edilmiştir.

Çeşme ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.e) 8150 düğüm ve 12107 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1472.6 km, caddelerin ortalama uzunluğu 121.632 m, ortalama düğüm derecesi 2.971, çıkmaz sokakların sayısı 1082, ilçenin çapı 151, yarıçapı 76 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 817.51 km olarak tespit edilmiştir.

Bayındır ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.f) 1687 düğüm ve 2294 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 761.28 km, caddelerin ortalama uzunluğu 331.859 m, ortalama düğüm derecesi 2.719, çıkmaz sokakların sayısı 399, ilçenin çapı 74, yarıçapı 37 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 560.83 km olarak tespit edilmiştir.

Çiğli ilçesinin çizge modelinde 4232 düğüm ve 6322 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 818.153 km, caddelerin ortalama uzunluğu 129.413 m, ortalama düğüm derecesi 2.987, çıkmaz sokakların sayısı 594, ilçenin çapı 70, yarıçapı 42 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 423.93 km olarak tespit edilmiştir.

Dikili ilçesinin çizge modelinde 6704 düğüm ve 9656 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam

uzunluğu 1400.35 km, caddelerin ortalama uzunluğu 145.024 m, ortalama düğüm derecesi 2.88, çıkmaz sokakların sayısı 1196, ilçenin çapı 140, yarıçapı 75 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 813.32 km olarak tespit edilmiştir.

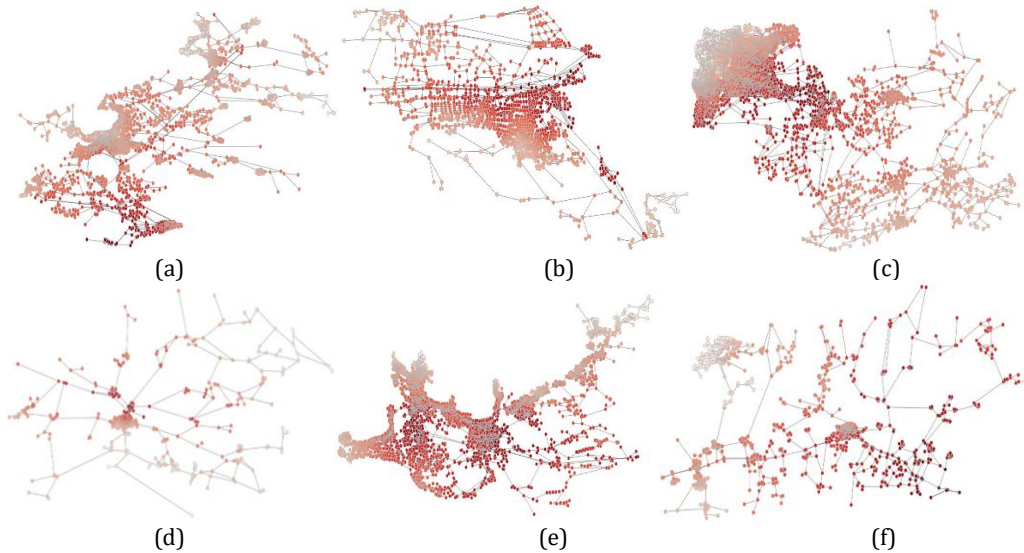
Foça ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.g) 3011 düğüm ve 4166 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 673.63 km, caddelerin ortalama uzunluğu 161.698 m, ortalama düğüm derecesi 2.76, çıkmaz sokakların sayısı 617, ilçenin çapı 93, yarıçapı 47 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 405.541 km olarak tespit edilmiştir.

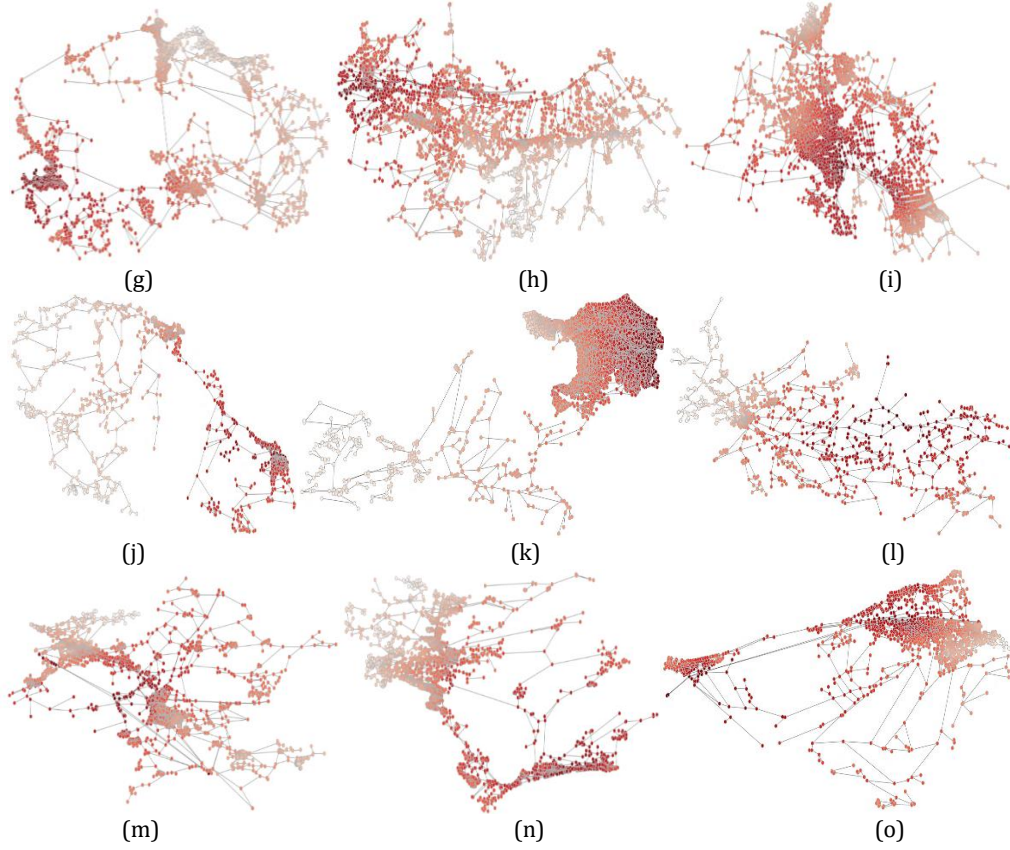
Kemalpaşa ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.h) 4601 düğüm ve 6108 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1675.22 km, caddelerin ortalama uzunluğu 274.268 m, ortalama düğüm derecesi 2.65, çıkmaz sokakların sayısı 1105, ilçenin çapı 88, yarıçapı 47 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 1059.876 km olarak tespit edilmiştir.

Gaziemir ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.i) 3101 düğüm ve 4589 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 246.5 km, caddelerin ortalama uzunluğu 543.612 m, ortalama düğüm derecesi 2.95, çıkmaz sokakların sayısı 460, ilçenin çapı 91, yarıçapı 46 ve en kısa yol ağacın üzgünlüğü 286.44 km olarak tespit edilmiştir.

Güzelbahçe ilçesinin çizge modelinde 2030 düğüm ve 3009 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 246.5 km, caddelerin ortalama uzunluğu 375.89 m, ortalama düğüm derecesi 2.96, çıkmaz sokakların sayısı 268, ilçenin çapı 62, yarıçapı 31 ve en kısa yol ağacın üzgünlüğü 217.33 km olarak tespit edilmiştir.

Karaburun ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.j) 1708 düğüm ve 2359 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 667.79 km, caddelerin ortalama uzunluğu 283.082 m, ortalama düğüm derecesi 2.76, çıkmaz sokakların sayısı 341, ilçenin çapı 101, yarıçapı 51 ve en kısa yol ağacın üzgünlüğü 450.253 km olarak tespit edilmiştir.





Şekil 4. a)Aliağa, b) Balçova, c) Buca, d) Beydağ, e) Çeşme, f) Bayındır, g) Foça, h) Kemalpaşa, i) Gaziemir, j) Karaburun, k) Karabağlar, l) Kiraz, m) Torbalı, n) Seferihisar, o) Narlıdere çizge modelleri.

Figure 4. Graph models of a)Aliağa, b) Balçova, c) Buca, d) Beydağ, e) Çeşme, f) Bayındır, g) Foça, h) Kemalpaşa, i) Gaziemir, j) Karaburun, k) Karabağlar, l) Kiraz, m) Torbalı, n) Seferihisar, o) Narlıdere.

Karabağlar ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.k) 6997 düğüm ve 11349 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 942.76 km, caddelerin ortalama uzunluğu 83.07 m, ortalama düğüm derecesi 3.24, çıkmaz sokakların sayısı 502, ilçenin çapı 141, yarıçapı 71 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 480.86 km olarak tespit edilmiştir.

Karşıyaka ilçesinin çizge modelinde 3261 düğüm ve 5057 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 486.471 km, caddelerin ortalama uzunluğu 96.197 m, ortalama düğüm derecesi 3.101, çıkmaz sokakların sayısı 319, ilçenin çapı 81, yarıçapı 41 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 232.92 km olarak tespit edilmiştir.

Kınık ilçesinin çizge modelinde 1727 düğüm ve 2291 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 723.03 km, caddelerin ortalama uzunluğu 315.599 m, ortalama düğüm derecesi 2.653, çıkmaz sokakların sayısı 386, ilçenin çapı 63, yarıçapı 34 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 458.85 km olarak tespit edilmiştir.

Kiraz ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.l) 1242 düğüm ve 1581 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 875.46 km, caddelerin ortalama uzunluğu 553.74 m, ortalama düğüm derecesi 2.545, çıkmaz sokakların sayısı 336, ilçenin çapı 68, yarıçapı 34 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 592.085 km olarak tespit edilmiştir.

Konak ilçesinin çizge modelinde 5741 düğüm ve 9260 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 702.01 km, caddelerin ortalama uzunluğu 75.811 m, ortalama düğüm derecesi 3.225, çıkmaz sokakların sayısı 475,

ilçenin çapı 75, yarıçapı 40 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 303.41 km olarak tespit edilmiştir.

Menderes ilçesinin çizge modelinde 6984 düğüm ve 9425 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1971.9 km, caddelerin ortalama uzunluğu 209.223 m, ortalama düğüm derecesi 2.699, çıkmaz sokakların sayısı 1574, ilçenin çapı 106, yarıçapı 53 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 1181.22 km olarak tespit edilmiştir.

Menemen ilçesinin çizge modelinde 4915 düğüm ve 7039 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1460.86 km, caddelerin ortalama uzunluğu 207.538 m, ortalama düğüm derecesi 2.864, çıkmaz sokakların sayısı 815, ilçenin çapı 70, yarıçapı 40 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 801.98 km olarak tespit edilmiştir.

1565 düğüm ve 2220 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 319.95 km, caddelerin ortalama uzunluğu 144.121 m, ortalama düğüm derecesi 2.837, çıkmaz sokakların sayısı 291, ilçenin çapı 61, yarıçapı 32 ve en kısa yol ağacın üzgünlüğü 185.44 km olarak tespit edilmiştir.

Ödemiş ilçesinin çizge modelinde 3219 düğüm ve 4487 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1499.24 km, caddelerin ortalama uzunluğu 334.131 m, ortalama düğüm derecesi 2.78, çıkmaz sokakların sayısı 643, ilçenin çapı 77, yarıçapı 41 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 907.25 km olarak tespit edilmiştir.

Torbalı ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.m) 3877 düğüm ve 5774 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1221.603 km, caddelerin ortalama uzunluğu

211.56 m, ortalama düğüm derecesi 2.97, çıkmaz sokakların sayısı 492, ilçenin çapı 93, yarıçapı 47 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 668.25 km olarak tespit edilmiştir.

Seferihisar ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.n) 4402 düğüm ve 6254 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1002.41 km, caddelerin ortalama uzunluğu 160.28 m, ortalama düğüm derecesi 2.84, çıkmaz sokakların sayısı 776, ilçenin çapı 87, yarıçapı 45 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 604.06 km olarak tespit edilmiştir.

Selçuk ilçesinin çizge modelinde 1669 düğüm ve 2369 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 704.57 km, caddelerin ortalama uzunluğu 297.416 m, ortalama düğüm derecesi 2.83, çıkmaz sokakların sayısı 263, ilçenin çapı 50, yarıçapı 27 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 387.648 km olarak tespit edilmiştir.

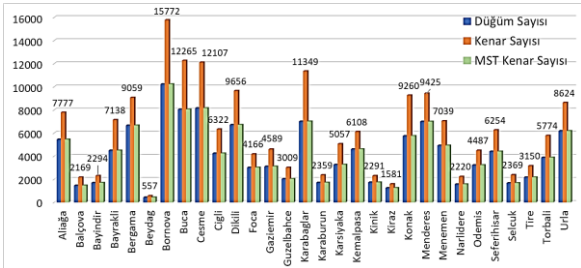
Tire ilçesinin çizge modelinde 2168 düğüm ve 3150 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 940.65 km, caddelerin ortalama uzunluğu 298.62 m, ortalama düğüm derecesi 2.9, çıkmaz sokakların sayısı 371, ilçenin çapı 81, yarıçapı 41 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 591.34 km olarak tespit edilmiştir.

Urla ilçesinin çizge modelinde 6174 düğüm ve 8624 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1589.07 km, caddelerin ortalama uzunluğu 184.262 m, ortalama düğüm derecesi 2.79, çıkmaz sokakların sayısı 1170, ilçenin çapı 92, yarıçapı 46 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 948.19 km olarak tespit edilmiştir.

Narlidere ilçesinin çizge modelinde Torbalı ilçesinin çizge modelinde (Şekil 4.o) 3877 düğüm ve 5774 kenar bulunmaktadır. Bu ilçenin sokak ve cadde ağının toplam uzunluğu 1221.603 km, caddelerin ortalama uzunluğu 211.56 m, ortalama düğüm derecesi 2.97, çıkmaz sokakların sayısı 492, ilçenin çapı 93, yarıçapı 47 ve tüm düğümleri bağlayan en kısa yol ağacın üzgünlüğü 668.25 km olarak tespit edilmiştir.

4.2. Verilerin İlçe Bazlı Karşılaştırılması

Bu bölümde hesaplanan 17 kriterin değerleri ilçe bazlı karşılatılmıştır. Şekil 5 ilçelerin düğüm, kenar ve en küçük kapsayan ağaçlarında bulunan kenar sayısını göstermektedir. İlçeler arasında, Bornova 15772 kenar 10223 düğüm ile en yüksek düğüm ve kenar içeren ilçe ve Beydağ 557 kenar ve 427 düğüm iler en az düğüm ve kenar içeren ilçedir. Böylece, Bornova en çok sokak ve cadde içeren ve Beydağ en az sokak ve cadde içeren ilçe olarak kabul edilebilir. Tüm ilçelerde MST ağacında bulunan kenarların sayısı düğümlerin sayısı eksi 1'e eşittir.

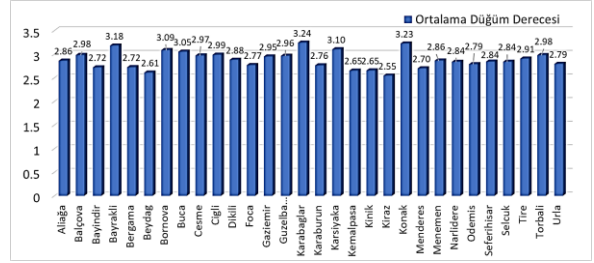


Şekil 5. İlçelerin düğüm, kenar ve MST ağaçlarında bulunan kenar sayısının karşılaştırılması.

Figure 5. Comparison of the numbers of nodes, edges, and MST size of the districts.

Şekil 6 ilçelerin ortalama düğüm derece dağılımını göstermektedir. Karabağlar ilçesi ortalama 3.24 ve Kiraz ilçesi ortalama 2.55 düğüm derecesi ile en yüksek ve en düşük

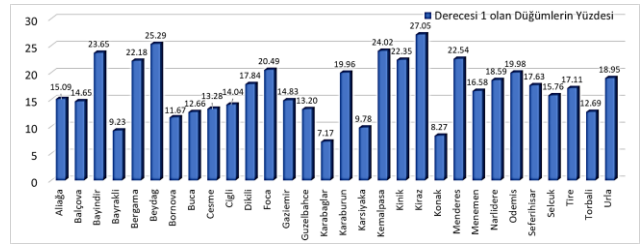
ortalama düğüm derecesine sahiptir. Ortalama düğüm derecesi, ilçelerin yoğunluğunu gösteren bir özellik olabilir zira düğüm derecesi yüksek olan illerin sokak ve cadde ağlarında daha fazla cadde birbiri ile kesişmektedir. Bu doğrultuda, düğüm derece dağılımına göre, Karabağlar, Konak Bayraklı, Karşıyaka ve Bornova ilçeleri sırayla en yoğun ve sıkışık ve Kiraz, Beydağ, Kemalpaşa ve Kınık en az yoğunluğu sahip ilçelerdir.



Şekil 6. İlçelerin ortalama düğüm derecesi.

Figure 6. Average node degree of districts.

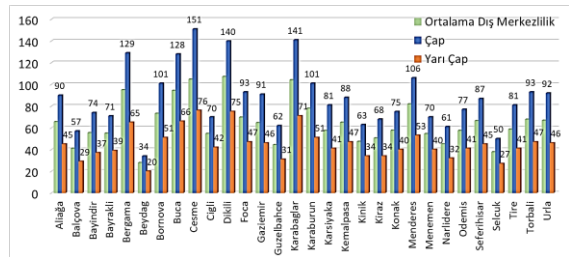
Şekil 7 ilçelerin toplam sokak sayısına göre, çıkmaz sokakların yüzdesini (derecesi 1 olan düğümlerin yüzdesi) karşılatmaktadır. Kiraz ilçesi %27.05 çıkmaz sokak oranı ve Karabağlar ilçesi %7.17 çıkmaz sokak oranıyla sırayla en çok ve en az çıkmaz sokak yüzdesine sahip ilçelerdir. Çıkmaz sokakların yüzdesi, ilçelerin ulaşım verimliliğini gösteren bir özellik olabilir zira çıkmaz sokakların yüzdesi fazla ise alternatif patikaların sayısı düşük olabilir. Yapılan hesaplamalara göre, Karabağlar, Konak Bayraklı, Karşıyaka ve Bornova ilçeleri sırayla en az ve Kiraz, Beydağ, Kemalpaşa, Bayındır ve Menderes en çok çıkmaz sokak yüzdesine sahip ilçelerdir.



Şekil 7. İlçelerin çıkmaz sokak yüzdesi

Figure 7. Percentage of dead-end streets of districts.

Şekil 8 ilçelerin ortalama dış merkezlilik, çap ve yarı çapı karşılatmaktadır. Beydağ ilçesi 34 ve Çeşme ilçesi 151 çapına sahip olarak en küçük ve en büyük çapa sahip ilçelerdir. Bir ilçenin çapı ne kadar yüksekse o ilçede farklı konumları arası ulaşım daha uzun sürebilir. Yapılan hesaplamalara göre, Beydağ, Selçuk, Balçova, Narlıdere ve Güzelbahçe ilçeleri sırayla en küçük ve Çeşme, Karabağlar, Dikili, Bergama ve Buca en büyük çapa sahip ilçelerdir. Genel olarak ilçelerin yarıçapı ve çapı benzer eğilim göstermektedirler ve çoğu ilçenin yarıçapı o ilçenin çapının yarısına yakın bir değerdir.

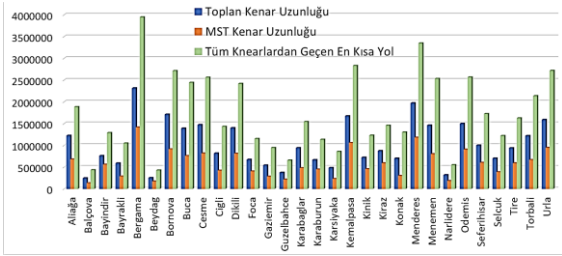


Şekil 8. İlçelerin ortalama dış merkezlilik, çap ve yarı çapı.

Figure 8. Average eccentricity, diameter and radius of districts.

Bir düğümün dış merkezliliği o düğüm ile o düğüme en uzak düğümün arasındaki mesafedir (düğüm sayısı). Dolayısıyla tüm düğümlerin ortalama dış merkezliliği ilgili ilçenin düğümler arası ortalama en yüksek uzaklığı gösterebilir. Yapılan hesaplamalara göre, Beydağ, Selçuk, Balçova, Narlıdere ve Güzelbahçe ilçeleri sırayla en küçük ve Dikili, Çeşme, Karabağlar, Bergama ve Buca en büyük ortalama dış merkezliğe sahip ilçelerdir.

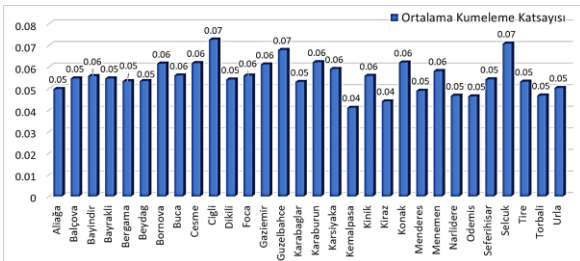
Şekil 9 ilçelerin toplam kenar uzunluğu, MST kenar uzunluğu ve tüm kenarlardan geçen en kısa yolun uzunluğunu göstermektedir. Yapılan hesaplamalarda, Bergama en yüksek kenar uzunluğu ve Balçova en kısa kenar uzunluğuna sahip ilçeler olarak tespit edilmiştir. Toplam kenar uzunluğu ilçelerin toplam sokak ve cadde ağlarının uzunluğunu göstermektedir. Dolayısıyla toplam kenar uzunluğu yüksek olan ilçelerde daha fazla sokak ve cadde bulunmaktadır. En yüksek kenar uzunluğunu sahip 5 ilçe sırayla, Bergama, Menderes, Bornova, Kemalpaşa, ve Urla ve en kısa kenar uzunluğuna sahip 5 ilçe sırayla, Balçova, Beydağ, Narlıdere, Güzelbahçe ve Karşıyaka olarak tespit edilmiştir. İlçelerin MST kenar uzunluğu, ilgili ilçenin tüm konumlarını birbirine bağlayan en kısa patikanın uzunluğunu göstermektedir. İlçeler için hesaplanan MST kenar uzunluğu toplam kenar uzunluğuna benzer eğilim göstermektedirler.



Şekil 9. İlçelerin toplam kenar uzunluğu, MST uzunluğu ve tüm kenarlardan geçen en kısa yol uzunluğu.

Figure 9. Total edge length, MST length and shortest path length passing through all edges of districts.

Tüm kenarlardan geçen en kısa yol, ilçenin herhangi bir konumundan başlayıp tüm sokak ve cadde ağlarınının geçen en kısa yolun uzunluğudur. Böyle bir patika bazı sokak ve caddelerden iki kere (örneğin çıkmaz sokaklardan) geçmektedir. Bu nedenle, tüm kenarlardan geçen en kısa patikanın uzunluğu toplam kenarların uzunluğundan her zaman daha fazla olur. Yapılan hesaplamalara göre, Bergama, Menderes, Kemalpaşa, Urla ve Bornova ilçelerinde tüm kenarlardan geçen en kısa yol diğer ilçelerden daha uzundur. Beydağ, Balçova, Narlıdere, Güzelbahçe ve Karşıyaka, sırayla tüm kenarlardan geçen en kısa patikalara sahip ilçeler olarak tespit edilmişlerdir.



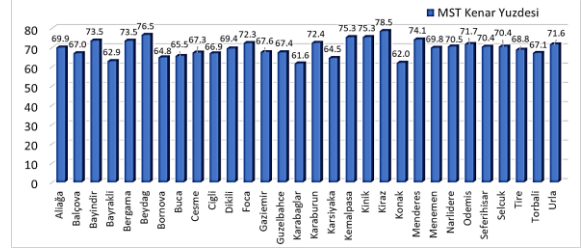
Şekil 10. İlçelerin ortalama kümeleme katsayısı.

Figure 10. Average clustering coefficient of districts.

Şekil 10 ilçelerin ortalama Kümeleme katsayısını göstermektedir. Kümeleme katsayısı yüksek olan ilçelerde bölgesel yoğunluk daha fazla olabilir. Başka bir deyişle kümeleme katsayısı ne kadar fazlaysa, o ilçede birbirinden ayrılabilen daha fazla

yoğun bölge bulunmaktadır. Kümeleme katsayısı küçük olan ilçelerin yoğunluğu daha eşit olarak tüm ilçede dağılır. Yapılan hesaplamalara göre, Çiğli, Selçuk, Güzelbahçe, Karaburun ve Konak en yüksek ve Kemalpaşa, Kiraz, Ödemiş, Narlıdere, ve Torbalı en küçük kümeleme katsayısına sahip ilçelerdir.

Şekil 11 ilçelerin MST ağacında bulunan kenarların yüzdesini göstermektedir. MST ağacında bulunan kenarların yüzdesi ne kadar düşük ilgili ilçede konumlar arası daha fazla alternatif patika bulunabilir zira MST tüm konumları birbirine bağlayan ve en az kenar içeren patikadır. Bu yüzde düşük olduğu ilçelerde MST ağacında bulunmayana ve alternatif patikalar oluşturabilen kenarların sayısı daha fazla olabilir.

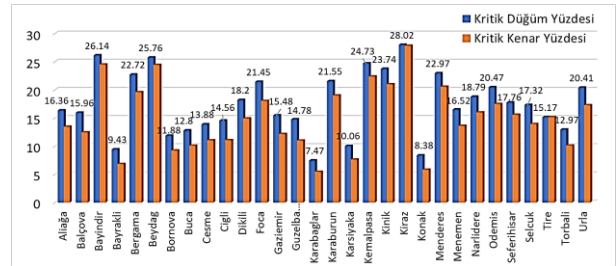


Şekil 11. İlçelerin MST ağacında bulunan kenarların yüzdesi.

Figure 11. Percentage of edges in the MST tree of districts.

Yapılan hesaplamalara göre, Kiraz, Beydağ, Kınık, Kemalpaşa ve Menderes ilçeleri MST ağacında en yüksek kenar yüzdesine sahip ilçelerdir. Karabağlar, Konak, Bayraklı, Karşıyaka v Bornova ilçeleri MST ağacında en az kenar yüzdesine sahip ilçeler olarak, konumlar arası daha fazla alternatif patika sunabilirler.

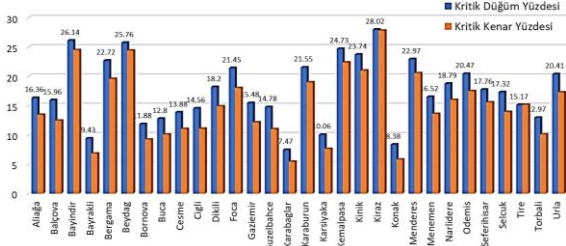
Şekil 12 ilçelerin kritik düğüm ve kenar sayısını göstermektedir. Bir kritik düğüm veya kenarı çizmeden kaldırdığımız zaman o çizge bağlı olmayan parçaları ayrılır. Dolayısıyla sokak ve cadde ağlarında kritik düğüm ve kenarların az olması ulaşım verimliliğini artırabilir. Yapılan hesaplamalara göre, Menderes, Bergama, Urla, Dikili ve Bornova en yüksek kritik düğüm ve kenara ve Beydağ, Balçova, Selçuk, Narlıdere ve Güzelbahçe en az kritik düğüm ve kenara sahip ilçelerdir.



Şekil 12. İlçelerin kritik düğüm ve kenar sayısı.

Figure 12. Number of critical nodes and edges of districts.

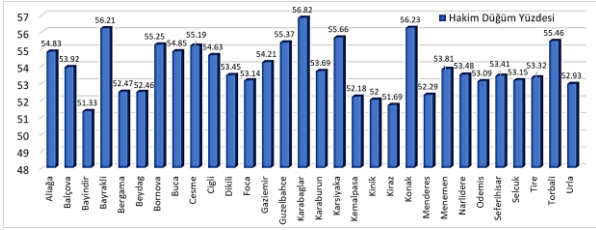
Şekil 13 toplam düğüm ve kenar sayısına göre ilçelerin kritik düğüm ve kenar yüzdesini göstermektedir. Böylece ilçelerin kritik düğüm ve kenar sayısı ilçenin sokak ve cadde ağının büyüklüğüyle orantılı olarak karşılaştırılabilir. Yapılan hesaplamalara göre, Kiraz, Bayındır, Beydağ, Kemalpaşa ve Kınık en yüksek kritik düğüm ve kenara yüzdesi ve Karabağlar, Konak, Bayraklı, Karşıyaka ve Bornova en az kritik düğüm ve kenar yüzdesine sahip ilçelerdir.



Şekil 13. İlçelerin kritik düğüm ve kenar yüzdesi.

Figure 13. Critical nodes and edges percentage of districts.

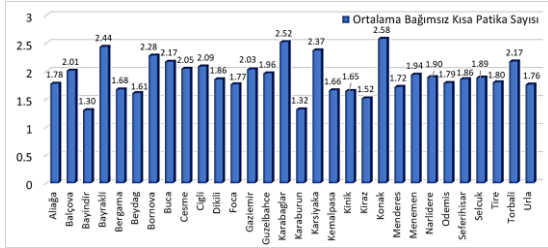
Şekil 14 ilçelerin hâkim düğüm yüzdesini göstermektedir. Hâkim düğüm ulaşım ağlarında omurga caddeleri oluşturan düğümler olarak kabul edilebilir. Hakim düğümlerin sayısı ne kadar düşüğe, ilgili ilçenin omurga caddesi daha küçük olabilir. Yapılan hesaplamalara göre, Karabağlar, Konak, Bayraklı, Karşıyaka ve Torbali sırayla en yüksek hakim düğüm yüzdesi ve Bayındır, Kiraz, Kınık, Kemalpaşa ve Menderes en az hakim düğüm yüzdesine sahip ilçelerdirler.



Şekil 14. İlçelerin hakim düğüm yüzdesi.

Figure 14. Percentage of dominating nodes of districts.

Şekil 15 ilçelerin ortalama bağımsız patikalarının sayısını göstermektedir. Ortalama bağımsız patika sayısı düğümler arası kesişmeyen ortalama alternatif patikaları göstermektedir.



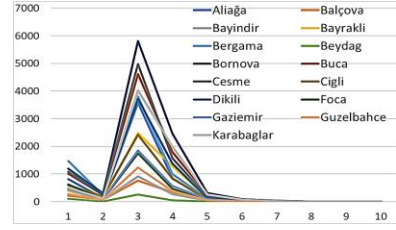
Şekil 15. İlçelerin ortalama bağımsız patika sayısı.

Figure 15. Average number of independent paths of the districts.

Alternatif patikaların sayısı artıktça, ulaşım verimliği ve konular arası ulaşım güvenliği artabilir zira bir patika herhangi bir sebepten dolayı kapanırsa, trafik diğer patikalardan devam edebilir. Yapılan hesaplamalara göre, Konak, Karabağlar, Bayraklı, Karşıyaka ve Bornova sırayla en yüksek bağımsız patika ve Bayındır, Karaburun, Kiraz, Beydağ ve Kınık en az bağımsız patikaya sahip ilçelerdirler.

4.3. Dağılımlar

Bu bölümde ilçelerin düğüm derece, k-zıplama düğüm derece, yakınlık merkezlilik ve derece merkezlilik dağılımı sunulmuştur. Bu bölümde sunulan şekillerin okunabilirliğini artırmak için ilçelerin dağılımı iki şekilde (her şekil 15 ilçenin dağılımını kapsayarak) sunulmaktadır. Şekil 16, ilçelerin düğüm derece dağılımını göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, 3 derecesine sahip düğümlerin sayısı tüm ilçelerde diğer derecelere göre daha fazladır. Bunun sebebi ana caddeler ve ara sokakların kesiştiğinden kaynaklanmaktadır.

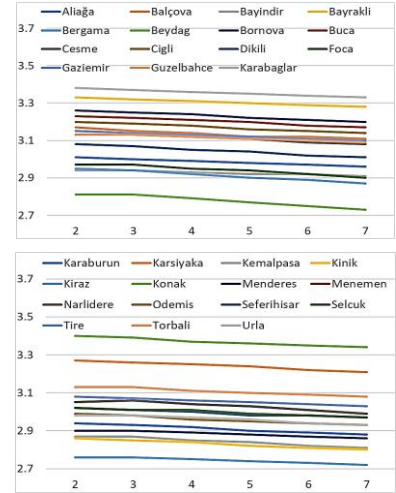


Şekil 16. İlçelerin düğüm derece dağılımı.

Figure 16. Node degree distribution of districts.

3 komşuya sahip düğümlerden sonra 1 ve 4 dereceye sahip düğümlerin sayısı çoğu ilçede diğer derecelerden daha fazladır. Tüm ilçelerde, 5 ve üzeri derecelerin sayısı diğer derecelere göre çok daha düşüktür.

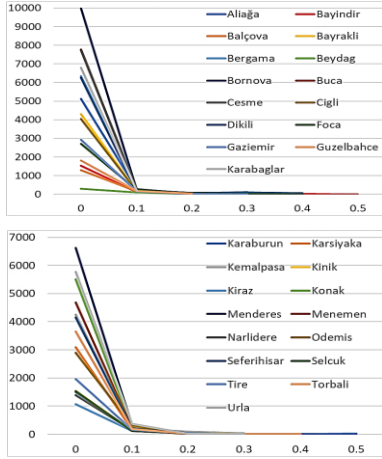
Şekil 17, ilçelerin k-zıplama düğüm derece dağılımını göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, 2-zıplama düğüm derece dağılımı tüm ilçelerde 2.7 ile 3.5 arasında değişmektedir. k değeri yükselince ortalama düğüm dereceleri yavaşça azalmaktadır ancak tüm ilçelerde dağılım üzerinde k değerinin etkisi sınırlıdır.



Şekil 17. İlçelerin k-zıplama düğüm derece dağılımı.

Figure 17. k-hop node degree distribution of districts.

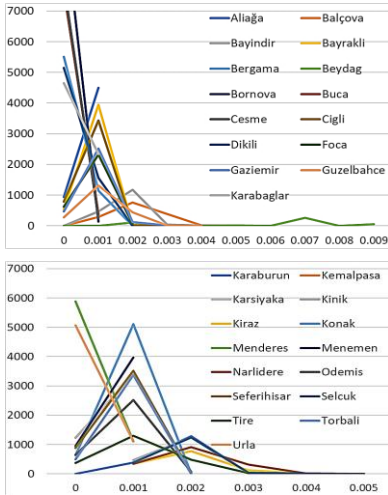
Şekil 18, ilçelerin yakınlık merkezlilik dağılımını göstermektedir. Bu şekilde, yakınlık merkezlilik dağılımı, her düğümün geçen en kısa patikaların yüzdesini göstermektedir. Şekil 18'de görüldüğü gibi, tüm ilçelerde çok az sayıda düğümden kısa patika geçmektedir. Örneğin Bornova ilçesinde, yaklaşık 10000 düğümden 0 kısa patika geçmektedir. Tüm ilçelerde, en kısa patikaların %10'unun geçtiği düğümlerin sayısı 500 düğümün altındadır. Başka bir deyişle her ilçede en fazla 500 düğüm en kısa patikaların %10'unun bir parçasıdır. Tüm ilçelerde en kısa patikaların %20'sinin geçtiği düğümlerin sayısı 100 düğümün altındadır.



Şekil 18. İlçelerin yakınlık merkezlik dağılımı.

Figure 18. Closeness centrality distribution of districts.

Şekil 19, ilçelerin derece merkezlik dağılımını göstermektedir. Bir düğümün derece merkezliliği o düğümün çizgede bulunan diğer düğümlerin yüzde kaçına bağlı olduğunu göstermektedir. Şekil 19'da görüldüğü gibi, tüm ilçelerde düğümlerin derece merkezliliği %0,1'in altındadır. Başka bir deyişle tüm ilçelerde, düğümlerin çoğu ağda bulunan diğer düğümlerin en fazla %0,1 ile bağlıdır. Derece merkezliliği %0,2'nin üzerinde olan düğümlerin sayısı tüm ilçelerde 1000 düğümün altındadır.



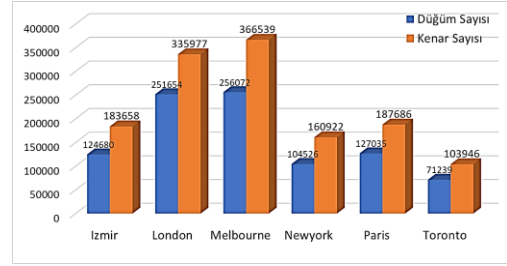
Şekil 19. İlçelerin derece merkezlik dağılımı.

Figure 19. Degree centrality distribution of districts.

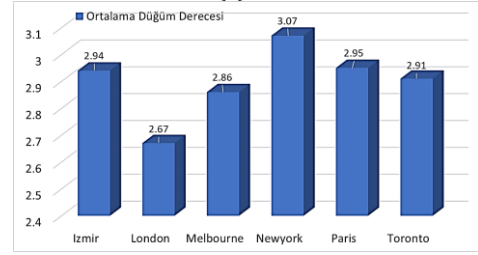
4.4. Büyükşehirlerin Karşılaştırılması

Bu bölümde İzmir ilinin sokak ve cadde ağı, Londra, New York, Melbourne, Paris ve Toronto olmak üzere dünyada 5 gelişmiş büyükşehirlerin sokak ve cadde ağıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 20.a büyükşehirlerin sokak ve cadde ağlarının toplam düğüm ve kenar sayısını karşılaştırmaktadır. Hesaplamalara göre, İzmir'in sokak ve cadde ağında 124680 düğüm ve 183658 kenar bulunmaktadır. İzmir'in sokak ve cadde ağının, New York, Paris ve Toronto şehirlerinden daha fazla düğüm ve kenar içermektedir. Melbourne ve Londra'nın sokak ve cadde ağı İzmir ve diğer şehirlerden fazla düğüm ve kenar içermektedir. Şekil 20.b şehirlerin düğüm derecelerini karşılaştırmaktadır. Denetlenen şehirler arasında, New York 3.07 ve Londra 2.67 düğüm derecesi ile en yüksek ve en düşük dereceye sahip şehirlerdir. İzmir'in sokak ve cadde ağı ortalama 2.94 düğüm derecesine sahip olarak, Londra, Melbourne ve Toronto'dan fazla

ve New York ve Paris'ten düşük ortalama düğüm derecesine sahiptir.



(a)

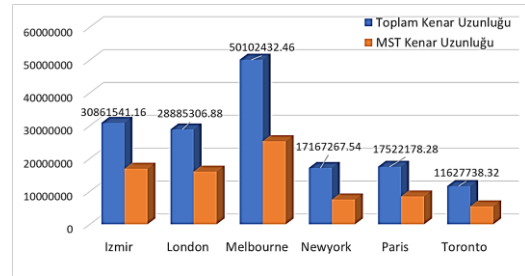


(b)

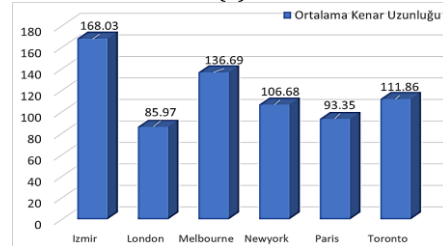
Şekil 20. Büyükşehirlerin a) düğüm ve kenar sayısı, b) ortalama düğüm derecesi.

Figure 20. a) Number of nodes and edges, b) average node degree of metropolitan cities.

Şekil 21.a büyükşehirlerin toplam ve MST kenar uzunluklarını göstermektedir. Denetlenen şehirler arasında Melbourne en yüksek toplam ve MST kenar uzunluğunu sahiptir. Melbourne'dan sonra İzmir en uzun toplam ve MST kenar uzunluğuna sahip kent olarak hesaplanmıştır. İzmir'in sokak ve cadde ağının toplam uzunluğunun Londra, New York, Paris ve Toronto'dan yüksek olması dikkat çekmektedir. Şekil 21.b büyükşehirlerin ortalama kenar uzunluğunu göstermektedir. İzmir'in sokak ve cadde ağında her kenarın ortalama uzunluğu 168.03 olarak hesaplanmıştır. Böylece, İzmir denetlenen şehirler arasında en yüksek ortalama kenar uzunluğuna sahip şehir olarak belirlenmiştir.



(a)

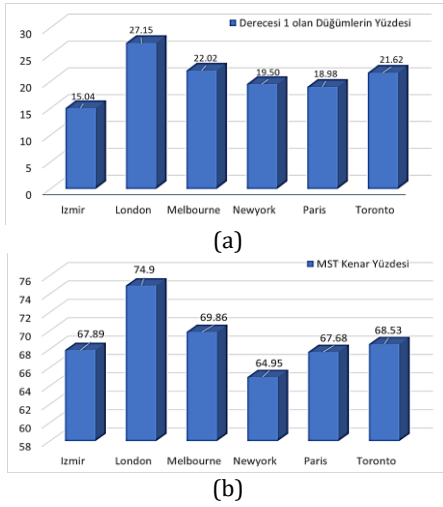


(b)

Şekil 21. Büyükşehirlerin a) toplam ve MST kenar uzunluğu, b) ortalama kenar uzunluğu.

Figure 21. a) Total MST length, b) average edge length of metropolitan cities.

Şekil 22.a büyükşehirlerin çıkmaz sokak yüzdesini göstermektedir. Denetlenen tüm şehirlerin arasında İzmir en az çıkmaz sokağa sahip şehir olarak belirlenmiştir. İzmir'in sokak ve cadde ağında sokaklarının %15.04'u çıkmaz sokaktır ancak diğer şehirlerde bu oran %18.98'in üzerindedir.

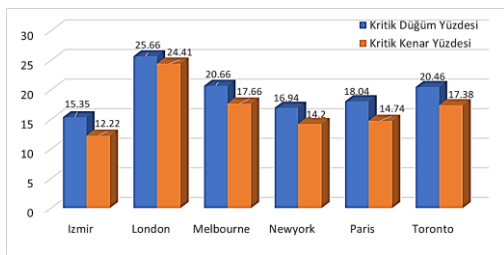


Şekil 22. Büyükşehirlerin a) çıkmaz sokak sayısı, b) MST kenar yüzdesi.

Figure 22. a) Number of dead-end streets, b) percentage of edges in MST of metropolitan cities.

Şekil 22.b büyükşehirlerin MST ağacında, sokak ve caddelerinin yüzde kaçının kullanıldığını göstermektedir. İzmir'in sokak ve cadde ağının MST ağacında kenarların %67.89'u kullanılmıştır. Bu değer düşük olması olası alternatif patikaların daha fazla olduğunu göstermektedir. Denetlenen şehirler arasında, New York %64.95 ve Paris %67.68 ile İzmir'den düşük MST yüzdesine sahip şehirler olarak belirlenmiştir.

Şekil 23 büyükşehirlerin kritik düğüm ve kenar yüzdesini göstermektedir. Denetlenen şehirler arasında İzmir %15.35 kritik düğüm ve %12.22 kritik kenara sahip olarak en düşük kritik düğüm ve kenar yüzdesine sahiptir. Kritik düğüm ve kenar yüzdesinin düşük olması sokak ve cadde ağında daha az dar boğazın olduğunu gösterebilir.



Şekil 23. Büyükşehirlerin kritik düğüm ve kenar yüzdesi.

Figure 23. Percentage of critical nodes and edges of metropolitan cities.

5. Tartışma ve Sonuç

Şehirlerin topolojik yapıları ve ulaşım ağlarının analizi kentsel tasarım, etkin afet yönetimi ve verimli kaynak planlamasına sebep olarak, insanların yaşam kalitesini yükseltebilir. Ayrıca sokak ve cadde ağlarının detaylı incelenmesi kentlerin yaşam kalitesinin ölçme, ve değerlendirmesinde somut ölçekler sunabilir. Bu çalışmada İzmir ilçelerinin sokak ve cadde ağları çizge kuramında bilinen çeşitli kavramlara dayanarak incelenmiştir.

Yapılan hesaplamalara göre, İzmir'in ilçelerinde ortalama 4196.33 ve 6140.9 kenar bulunmaktadır. En çok düğüm ve kenara sahip ilçe Bornova (10223 düğüm ve 15772 kenar) ve az düğüm ve kenara sahip ilçe Beydağ (427 düğüm ve 557 kenar) olarak hesaplanmıştır. Tüm ilçelerin ortalama düğüm derecesi 2.88, en yüksek ortalama düğüm derecesine sahip ilçe 3.24 düğüm derecesi ile Karabağlar ve en düşük ortalama düğüm derecesine sahip ilçe 2.54 düğüm derecesi ile Kiraz olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, Bornova, Karşıyaka, Bayraklı, Konak ve Karabağlar en kalabalık ve en fazla sokak veya cadde içeren ilçeler ve Beydağ, Kiraz, Bayındır, Kınık ve Narlıdere en az sokak ve cadde içeren ilçeler olarak belirlenmişlerdir.

Hesaplanan çıkmaz sokakların sayısına göre, ilçelerde ortalama 657.26 çıkmaz sokak bulunmaktadır. Tüm ilçelerin ortalamasında, çıkmaz sokakların sayısı sokak ve caddelerin ortalama %16.88'ini oluşturmaktadır. En çok çıkmaz sokak oranını içeren Kiraz ilçesinde sokakların %27.05'i ve en az çıkmaz sokak oranını içeren Karabağlar ilçesinde sokakların %7.17'si çıkmaz sokak olarak hesaplanmıştır. Çıkmaz sokakların yüzdesi yüksek olan ilçelerde alternatif patikaların sayısı düşük olabilir.

İlçelerin tüm konumlarını bağlayan en küçük kapsayan ağaçların ortalama kenar sayısı 4195.33 ve bu ağaçların ortalama uzunluğu 591493.84 m olarak hesaplanmıştır. En uzun kapsayan ağaca sahip Bergama ilçesinde kapsayan ağacın üzgünlüğü 1415206.82 (6654 kenar) ve en kısa kapsayan ağaca sahip Balçova ilçesinde kapsayan ağacın üzgünlüğü 134833.13 m (1453 kenar) olarak hesaplanmıştır. En az orana sahip Karabağlar ilçesinde kenarların %61.64'u en küçük kapsayan ağaçta kullanılırken en yüksek orana sahip Kiraz ilçesinde kenarların %78.49'u en küçük kapsayan ağacında kullanılmıştır. Tüm ilçelerin en küçük kapsayan ağaçları dikkate alındığı zaman ortalama kenarların %69.61'i en küçük kapsayan ağaçlarda kullanılmıştır.

İzmir ilçelerinde ortalama 680.6 kritik düğüm ve 808.56 kritik kenar bulunmaktadır. En az kritik düğüm ve kenar içeren Beydağ ilçesinde 110 kritik düğüm ve 136 kritik kenar ve en yüksek kritik düğüm içeren Menderes ilçesinde 1604 kritik düğüm ve 1937 kritik kenar bulunmaktadır. İlçelerin ulaşım ağlarında düğüm ve kenar sayısı farklı olduğu için kritik kenar ve düğümlerin yüzdesi ulaşım verimliliği hakkında daha yararlı bilgi verebilir. Kritik düğümlerin yüzdesine bakıldığında, en az kritik düğüm yüzdesine sahip Karabağlar ilçesinde düğümlerin %7.47'si ve en yüksek kritik düğüm yüzdesine sahip Kiraz ilçesinde düğümlerin %28.02'si kritik düğüm olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, en az kritik kenar yüzdesine sahip Karabağlar ilçesinde kenarların %5.45'i ve en yüksek kritik kenar yüzdesine sahip Kiraz ilçesinde kenarların %27.83'u kritik olarak belirlenmiştir.

İzmir ilçelerinin sokak ve cadde ağında rastgele seçilen iki konum arasında ortalama 1.91 bağımsız patika bulunmaktadır. Bağımsız patikalar ne kadar fazlaysa, konumlar arası alternatif patikaların sayısı o kadar yüksek olur ve ulaşım verimliliği artabilir. En az bağımsız patika içeren Bayındır ilçesinde, konumlar arası ortalama 1.3 bağımsız patika bulunmaktadır. En yüksek bağımsız patika içeren Konak ve Karabağlar ilçelerinde, konumlar arası ortalama 2.52 ve 2.58 bağımsız patika bulunmaktadır. Böylece Karabağlar ve Konak ilçelerinde diğer ilçelere göre konumlar arası alternatif patikaların daha fazla olduğu söylenebilir.

İzmir ilçelerinin ortalama dış merkezliliği 64.92 olarak hesaplanmıştır. Böylece, ilçelerde rastgele seçilen bir konum ile diğer konumlar arası ortalama 62.92 sokak veya cadde bulunmaktadır. En az ortalama dış merkezliliği sahip Beydağ ilçesinde, rastgele seçilen bir konum ile diğer konumlar arasında ortalama 27.8 sokak veya cadde bulunmaktadır. En yüksek

ortalama dış merkezliliği sahip Çeşme ve Dikili ilçelerinde, seçilen bir konum ile diğer konumlar arasında ortalama 104.66 ve 107.1 sokak veya cadde bulunmaktadır.

Yapılan hesaplamalara göre, ilçelerin ortalama kümeleme katsayısı 0.055 olarak hesaplanmıştır. Kemalpaşa ilçesinin sokak ve cadde ağı, 0.041 kümeleme katsayısına sahip olarak, diğer ilçelerden daha eşit bir yoğunluk dağılımına sahiptir. Çiğil ilçesinin sokak ve cadde ağı, 0.072 kümeleme katsayısına sahip olarak, diğer ilçelerden daha fazla bölgesel yoğunla sahiptir. Kümeleme katsayısı yüksek olan ilçelerde bölgesel yoğunluk daha fazla olabilir.

Dünyada genelinde 5 gelişmiş büyükşehir ile karşılaştırıldığında, İzmir 124680 düğüm ve 183658 kenar ile Melbourne ve Londra'dan sonra 6 şehir arasında 3. en büyük ulaşım ağına sahip olduğu tespit edilmiştir. Denetlenen tüm şehirlerin ortalama düğüm derecesi 2.9 ve İzmir'in ortalama düğüm derecesi 2.94 olarak tespit edilmiştir. Çıkmaz sokakların sayısına bakıldığında, İzmir 18746 çıkmaz sokak ile, Toronto'dan sonra en az çıkmaz sokağa sahip şehir olarak belirlenmiştir. Çıkmaz sokakların yüzdesine göre, tüm şehirlerin çıkmaz sokak yüzdesinin ortalaması %20.71 olduğu ve İzmir'in çıkmaz sokak oranı %15.03 olduğu tespit edilmiştir. Toplam sokak ve cadde ağlarının uzunluğuna göre 30861 km toplam uzunluğa sahip İzmir, Melbourne 'dan sonra en uzun sokak ve cadde ağına sahip şehir olarak hesaplanmıştır. Denetlenen şehirlerin toplam sokak ve cadde ağlarının ortalama uzunluğu 26027 km olarak hesaplanmıştır.

Şehirler için bulunan en küçük kapsayan ağaçlar kenarların ortalama %68.96'sını kapsamaktadır. Bu oran İzmir şehri için %67.89 olarak hesaplanmıştır. New York ve Paris'ten sonra İzmir'in kapsayan ağacı en düşük kenar oranını içermektedir. Denetlenen şehirlerin ortalama kritik düğüm ve kritik kenar yüzdesi sırayla %19.51 ve %16.76 olarak tespit edilmiştir. İzmir'in sokak ve cadde ağı sırayla %15.35 ve %12.22 kritik düğüm ve kritik kenar içererek diğer şehirler arasında en az kritik düğüm ve kenar içeren ağ olarak belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, benzer kriterler Türkiye ve dünya genelinde diğer büyükşehirlerin sokak ve cadde ağlarında uygulanabilir. Böylece büyükşehirlerin sokak ve cadde ağlarının verimliliği karşılaştırılabilir. Ayrıca, sokak ve cadde ağları söz konusu 17 kriter dışında, çizge kuramında tanımlanan diğer problemler veya kriterlere göre değerlendirilebilir. Örneğin çizgelerin benzerlik oranı hesaplanarak, iller veya ilçeler arası sokak ve cadde ağlarının benzerlik oranları hesaplanabilir.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmayı FKB-2021-22406 proje kapsamında destekleyen ve maddi imkan sağlayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Ramm, F., Topf, J., & Chilton, S. 2011. "OpenStreetMap: using and enhancing the free map of the world", Cambridge: UIT Cambridge.
- [2] Boeing, G. 2017. "OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks", Computers, Environment and Urban Systems, 65, 126-139.
- [3] Jiang, B. 2007. "A topological pattern of urban street networks: universality and peculiarity" Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 384(2), 647-655.

- [4] Masucci, A. P., Arcaute, E., Hatna, E., Stanilov, K., & Batty, M. 2015. "On the problem of boundaries and scaling for urban street networks", Journal of the Royal Society Interface, 12(111), 20150763.

- [5] Wang, F., Antipova, A., & Porta, S. 2011. "Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana". Journal of Transport Geography, 19(2), 285-293.

- [6] Jiang, B., Duan, Y., Lu, F., Yang, T., & Zhao, J. 2014. "Topological structure of urban street networks from the perspective of degree correlations". Environment and Planning B: Planning and Design, 41(5), 813-828.

- [7] Boeing, G. 2018. "A multi-scale analysis of 27,000 urban street networks: Every US city, town, urbanized area, and Zillow neighborhood", Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 47(4) 590-608.

- [8] Han, B., Sun, D., Yu, X., Song, W., & Ding, L. 2020. "Classification of urban street networks based on tree-like network features". Sustainability, 12(2), 628.

- [9] Erdem, U., & Cubukcu, K. M. 2019. "Visualizing the road network topology differences of Istanbul city". Environment and Planning A: Economy and Space, 51(4), 827-830.

- [10] Alakaş, H. M., Kızıltaş, Ş., Eren, T., & Özcan, E. 2018. "Sıfır atık projesi kapsamında atıkların toplanması: kırıkale ilinde homojen çok araçlı araç rotalama uygulaması", Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3), 190-196.

- [11] Kahraman, M. 2018. "Muğla şehrinin cadde ve sokak sistemleri üzerinde etkili olan faktörler". Journal of International Social Research, 11(61).

- [12] Deniz, M., & Topuz, M. 2018. "Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Destekli Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Analitik Hiyerarşi Tekniği Kullanarak Uşak Merkez İlçede Alternatif Çöplük Alanlarının Belirlenmesi". Journal of History Culture and Art Research, 7(5), 544-578.

- [13] Cubukcu, E., & Cubukcu, K. M. 2017. "The urban patterns in informal and formal neighborhoods: a graph theory-based study", International Contemporary Urban Issues Conference 16, 94.

- [14] Deniz, M., Topuz, M., & Akbay, H. M. 2019. "Ödemiş ilçesinde okul lokasyonlarının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile analizi". Social Sciences, 14(6), 3009-3029.

- [15] Sezer, A., Deniz, M., Kocaman, E., & Topuz, M. 2019. Turgutlu şehrinde okullara erişilebilirliğin cbs ile analizi. International Journal of Geography and Geography Education, (40), 190-207.

- [16] Deniz, M. 2018. "Uşak şehrinde aile sağlığı merkezlerine erişilebilirliğin CBS ile analizi". Electronic Turkish Studies, 13(26).

- [17] Asami, Y., Kubat, A. S., & Istek, C. 2001. "Characterization of the street networks in the traditional Turkish urban form". Environment and Planning B: Planning and Design, 28(5), 777-795.

- [18] Hacar, M., Kılıç, B., & Şahbaz, K. 2018. "Analyzing openstreetmap road data and characterizing the behavior of contributors in Ankara", Turkey. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(10), 400.

- [19] Floyd, R. W. 1962. "Algorithm 97: shortest path", Communications of the ACM, 5(6), 345.

- [20] Henzinger, M. R., Rao, S., & Gabow, H. N. 2000. "Computing vertex connectivity: New bounds from old techniques". Journal of Algorithms, 34(2), 222-250.

- [21] Stoer, M., & Wagner, F. 1997. "A simple min-cut algorithm", Journal of the ACM (JACM), 44(4), 585-591.

- [22] Brandes, U. 2001. "A faster algorithm for betweenness centrality". Journal of mathematical sociology, 25(2), 163-177.

- [23] Prim, R. C. 1957. "Shortest connection networks and some generalizations", The Bell System Technical Journal, 36(6), 1389-1401.

- [24] Ruan, L., Du, H., Jia, X., Wu, W., Li, Y., & Ko, K. I. 2004. "A greedy approximation for minimum connected dominating sets". Theoretical Computer Science, 329(1-3), 325-330.

- [25] Eppstein, D. 1998. "Finding the k shortest paths". SIAM Journal on computing, 28(2), 652-673.

- [26] Edmonds, J., & Johnson, E. L. (1973). Matching, Euler tours and the Chinese postman. Mathematical programming, 5(1), 88-124.