

Sürdürülebilir Ulaşım Planlamasında CBS Tabanlı Otopark Uygunluk Analizi

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 25.07.2023

Kabul/Accepted: 06.05.2024

Yayımlandı/Published: 27.06.2024

GIS-Based Car Parking Suitability Analysis in Sustainable Transportation Planning

Arif Çağdaş AYDINOĞLU^{1,2*}, Süleyman ŞİŞMAN¹, Mesube Azize ŞAŞMAZ¹, Selin Nur AKIN¹

¹ Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

² Gebze Teknik Üniversitesi, Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Son zamanlarda çalışma hayatı ve günlük yaşam biçimlerindeki değişimler daha fazla insanın şehirlere yönelmesine neden olmuştur. Artan nüfus, araç sayısındaki hızlı artışı da paralelinde getirmiş olup şehir içi ulaşım sistemlerini olumsuz etkilemiştir. Bu yüzden sürdürülebilir kentsel ulaşımında büyük öneme sahip otoparkların eksik olması ve uygun olmayan konumlara planlanmasından dolayı problemler meydana gelmektedir. Araçların durağan trafik olarak bilinen otoparklarda zamanının çoğunu geçirdiği göz önüne alındığında, uygun otopark konumlarının belirlenmesi ile trafik sıkışıklığı ve araçların hareket kabiliyeti optimize edilmektedir. Araç sahipliği ve birim alandaki nüfusun fazla olduğu metropoliten alanlarda ulaşımın sorunsuz sağlanması açısından bu durum büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada sürdürülebilir ulaşım planlaması için otopark uygunluk analizinde Ulaşım, Ekonomi&Finans ve Potansiyel Çekim Özellikleri kriter gruplarında 23 kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları için ilgili sektör paydaşlarının katıldığı anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anketler Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden En İyi-En Kötü (Best Worst Method-BWM) tekniği ile analiz edilmiş olup, kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. İstanbul'un Pendik ve Tuzla ilçeleri ile Kocaeli'nin Gebze, Çayırova ve Darıca ilçeleri çalışma alanı olarak belirlenmiş olup, çalışma alanında kriterlere ilişkin veriler elde edilmiştir. Veriler yakınlık, eğitim, bulanık mantık ve ağırlıklı bindirme gibi coğrafi analiz teknikleri ile değerlendirilerek Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı uygunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle Pendik ilçesinde 5 farklı konumda toplam 18.38 km², Tuzla ilçesinde 4 farklı konumda toplam 8.55 km² ve Gebze ilçesinde 6.51 km² bölgesel uygun alanlar tespit edilmiştir. Sonuçlar kentlerde otoparkların uygun yerlere konumlandırılmasında etkin karar-destek mekanizması olarak değerlendirilebilir. Uygun yerlere planlanmış otoparklar trafik sıkışıklığı ve çevreye salınan karbon emisyonlarının azaltılmasıyla kentsel yaşam kalitesinin artırılmasına katkı sağlayabilir.

Abstract

Recently, changes in working life and daily lifestyles have caused more people to move to cities. The increasing population brought the rapid increase in the number of vehicles in parallel and negatively affected the urban transportation systems. Therefore, problems occur due to the lack of car parking areas, which are of great importance in sustainable urban transportation, and their planning in unsuitable locations. Considering that cars spend most of their time in car parking areas known as static traffic, traffic congestion and mobility of cars are optimized by determining suitable parking locations. This situation is of great importance in terms of car ownership and ensuring fluently transportation in metropolitan areas where the population per unit area is high. In this study, 23 criteria were determined in the criteria groups of Transportation, Economy & Finance and Potential Attraction Properties for sustainable transportation planning in the car parking suitability analysis. For criterion weights, a survey was conducted with participation of relevant sector stakeholders. The surveys were analyzed using the Best Worst Method (BWM) technique, one of the Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques, and criterion weights were calculated. Pendik and Tuzla districts of Istanbul and Gebze, Çayırova and Darıca districts of Kocaeli were determined as the study area, and data representing criteria were obtained in the study area. Geographic Information Systems (GIS)-based suitability analysis was performed by evaluating data with geographical analysis techniques such as proximity, slope, fuzzy logic and weighted overlay. Thus, a total of 18.38 km² in 5 different locations in Pendik, a total of 8.55 km² in 4 different locations in Tuzla and 6.51 km² in Gebze were determined as zonal suitable areas. The results can be considered as effective decision support mechanism for locating parking areas in suitable locations in cities. Car parking areas planned in suitable locations can contribute to improving the quality of urban life by reducing traffic congestion and carbon emissions released into environment.

Anahtar Kelimeler: En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM); Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); Bulanık Mantık; Otopark Uygunluk Analizi.

Keywords: Best Worst Method (BWM); Geographic Information Systems (GIS); Fuzzy Logic; Car Parking Suitability Analysis

1. Giriş

Günümüzde metropoliten şehirlerdeki artan nüfus ile plansız ve yoğun yapı stoğu oluşmuş olup, bu durum ulaşım planlamada çeşitli sorunlarının başlamasına neden olmuştur (Mohomed *et al.* 2022, Toan 2022). Birleşmiş Milletler (BM)'nin Dünya Şehirleri 2022 Raporu'na göre, dünya nüfusunun önümüzdeki 30 yılda artış eğiliminde olacağı ve 2050 yılı itibari ile nüfusun %68'inin şehirlerde yaşayacağı ön görülmektedir (UN-Habitat 2022). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayınlanan 2022 yılı kent-kır nüfus istatistiklerine göre ülkemiz nüfusunun %67,9'u yoğun, %17,3'ü orta yoğun olarak sınıflandırılan kentlerde yaşamaktadır (TÜİK 2023). Bu durumun bir sonucu olarak, özellikle İstanbul ve Kocaeli gibi büyük şehirlerde trafik, hava ve çevre kirliliği, ulaşım gibi birçok alanlarda önemli planlama sorunları ortaya çıkmaktadır (Babaei *et al.* 2023, Bibri and Krogstie 2017, D'Alpaos and Andreolli 2020). Şehirler kaynaklarını daha etkin kullanabileceği, bilgi ve iletişim teknolojilerinden yararlanabileceği, şehirlerde yaşayan insanların yaşam kalitesini artırma odaklı bilgi sistemi çözümlerine ihtiyaç duymaktadır (Bovkir *et al.* 2023, Hollands 2008, Neirotti *et al.* 2014).

Son zamanlarda çalışma hayatı ve günlük yaşam biçimlerinde meydana gelen değişimler, daha fazla insanın şehirlere yönelmesi ile yoğun kentleşmeye sebep olmuştur (Ari 2022, Zhang *et al.* 2022). Artan kent nüfusuna paralel olarak, trafiğe çıkan araç sayılarındaki hızlı artış ile şehir içi ulaşım sistemlerini olumsuz etkilemiştir. Bu bağlamda gündeme gelen sürdürülebilir ulaşım kavramı BM Üst Düzey Danışma Grubu tarafından "Karbon gazı salınımı, diğer emisyonları ve çevresel etkileri en aza indirirken güvenli, uygun fiyatlı, erişilebilir, verimli ve dayanıklı bir şekilde insanların ve malların hareketliliği için hizmet ve altyapı sağlanması" olarak tanımlanmıştır (İPA 2023, UN 2023). Sürdürülebilir ulaşım; ulaşım sistemlerine etkin erişiminin sağlanması, gelişmiş güvenlik, azaltılmış çevre ve iklim değişikliği ile mücadele, gelişmiş dayanıklılık ve daha fazla verimlilik hedefleri ile sürdürülebilir şehirler ve toplulukların inşasının da merkezinde yer almaktadır (GMR 2022, UN-Interagency Report 2021).

Metropoliten şehirlerin birçoğunda sürdürülebilir kentsel ulaşım için önemli bir konu olan otoparkların eksikliği ve uygun olmayan konumlara planlanmasından dolayı sorunlar yaşanmaktadır. Araçlar gün içinde durağan trafik olarak bilinen otoparklarda zamanının çoğunu geçirmektedir. Bu kapsamda otoparklar için uygun konumların analitik olarak belirlenmesi, trafik yükünü ve marjinal paklanmayı azaltır ve araçların hareket

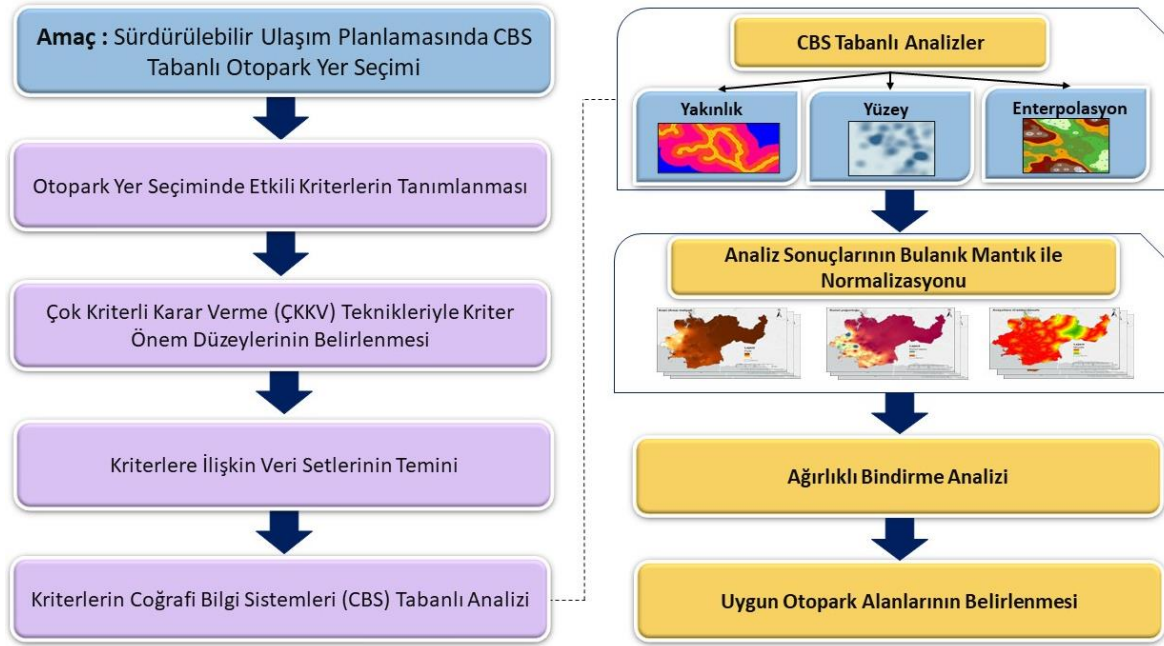
kabiliyetini iyileştirir (Levy and Benenson 2015). Özellikle araç sahipliği oranlarının yüksek olduğu metropoliten alanlar göz önüne alındığında, bu durum ulaşımının aksamadan yerine getirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle otopark alanlarının planlanması şehirlerde sürdürülebilir ulaşımın temel konuları arasında yer almaktadır (Golias 2002, Hosseinlou *et al.* 2012, İSPARK 2016, Karimi *et al.* 2009). Kent içinde doğru ve uygun yerlere konumlandırılmış otoparklar ile trafik sıkışıklığının azaltılmasıyla, havaya salınan araç kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılması kentsel hava kalitesinin artırılmasına önemli katkılar sağlayabilmektedir.

Otopark alanları için uygun konumlarının belirlenmesi, farklı kriterler ve bunların göreceli önemi ile doğrudan ilişkilidir. Otopark alanları için uygun konumların geleneksel yaklaşımlarla belirlenmesi otoparkların aktif seyahat, potansiyel çekim merkezleri ve yoğun caddelerden uzakta konumlandırılmasına neden olmakta ve bu da trafik yükleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Dehghani and Soltani, 2023, Demir *et al.* 2021). Dolayısıyla uygun otopark yerlerinin analizinde çok sayıda kriterin eş zamanlı değerlendirilebildiği analitik analiz yaklaşımlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu kapsamda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Teknikleri kullanarak çok sayıda kriter eş zamanlı değerlendirilebilmektedir.

ÇKKV ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), otopark alanları için uygun konumu belirlemek için birden fazla temel parametreyi aynı anda analiz etme yeteneğine sahiptir. Literatürde bazı araştırmalar, CBS tabanlı ÇKKV teknikleri ile otopark alanı seçimi problemlerine odaklanmıştır. Örneğin, Krasić ve Lanović (2013) otopark yer seçiminde etkili kriterleri Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) tekniği ile ağırlıklandırmışlardır. Hosseinlou *vd.* (2012) ise benzer şekilde AHP tekniği ile kriter ağırlıklarını belirlemiş olup, kriterlerin coğrafi analiz sonuçları ve ilgili ağırlıkları CBS entegre bulanık cebirsel toplam yaklaşımı kullanarak birleştirmişlerdir. Diğer taraftan uygun otopark alanlarını belirlemek için Demir (2016)-Bulanık AHP (BAHP), Alinia *vd.* (2015)- Jelokhani-niaraki ve Malczewski (2015) Ordered Weighted Average (OWA), Palevičius *vd.* (2013)-Complex Proportional Assessment (COPRAS), Farzanmanesh *vd.* (2010) ise Bulanık Mantık gibi teknikleri CBS entegre biçimde kullanmışlardır. Fakat bu çalışmalarda kullanılan otopark yer seçim kriterlerine ilişkin ağırlıklandırma işlemi belirli bir meslek grubu ya da literatüre dayalı olarak belirlenmiştir. Kriterler farklı meslek disiplinlerinden uzmanlar ve ilgili sektör paydaşları ile bütüncül olarak yeterli düzeyde değerlendirilmemiştir

Bu çalışmada, yüksek nüfus ve farklı ulaşım fonksiyonlarının bir arada olması nedeniyle seçilen test bölgesi, İstanbul ilinin Tuzla ve Pendik ilçeleri ile Kocaeli ilinin Gebze, Darıca ve Çayırova ilçelerini kapsamaktadır.

Çalışma alanı dahilinde temin edilen verilerin Şekil 1'deki iş sürecine göre CBS entegre biçimde değerlendirilmesiyle yeni tesis edilecek otoparklar için olası en uygun konumlar belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma iş akışı süreci.

2. Materyal ve Metot

2.1. Otopark Uygunluk Analizinde Etkili Kriterlerin Belirlenmesi

Sürdürülebilir şehirler için uygun otopark alanlarının belirlenmesi, doğrudan farklı parametreler ve bunların göreceli önemi ile ilgilidir. Otopark yer seçimi için uygun alanların belirlenmesi çok sayıda kriterle bağlı olup, bu kriterlerin eş zamanlı analiziyle en uygun alanların tespiti yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında şehirlerde sürdürülebilir ulaşım planlamada otopark yer seçiminde etkili unsurlar Ulaşım, Ekonomi/Finans ve Potansiyel Çekim Özellikleri ana kategorileri altında detaylı literatür taramaları sonucunda Şekil 2'de ifade edilen 3 ana kriter grubunda toplam 23 kriter ile tanımlanmıştır (Aydınoglu and Iqbal 2021, Demir et al. 2021, Karimi et al. 2009, Li et al. 2009, Öztürk vd., 2020, Sisman and Aydinoglu 2020).

Ulaşım Özellikleri kriter grubu mevcut yolların ve farklı ulaşım fonksiyonlarına yakınlık gibi kriterlerin yeni yapılacak otopark alanlarına etkisini ifade etmektedir. Bu kriter grubu içerisinde tanımlanan kriterler göz önüne alındığında; yeni otopark alanları anayollara, otoyollara, otobüs duraklarına, raylı sistem istasyonlarına, deniz ulaşım istasyonlarına ve hava alanlarına yakın olmalıdır. Ayrıca yeni otopark alanları trafik yoğunluğunun yüksek ve yol eğiminin düşük olduğu yerlerde olmalıdır.

Ekonomi/Finans Özellikleri kriter grubu mevcut otoparkların kapasite ve ücretleri, bölgedeki araç sahipliği gibi ekonomi ve finans odaklı kriterlerin yeni yapılacak otopark alanlarına etkisini ifade etmektedir. Bu kriter grubu içerisinde tanımlanan kriterler göz önüne alındığında; yeni otopark alanları arsa maliyetinin düşük, otomobil sahipliği ve otopark ücretlerinin yüksek, otopark kapasitelerinin düşük olduğu ve mevcut otoparklardan uzak yerlerde olmalıdır.

Potansiyel Çekim Özellikleri Kriter grubu ise mevcuttaki nüfus ve konut yoğunluğunun yanı sıra eğitim, sağlık, alışveriş, kültürel tesisler gibi sosyal donatı unsurlarının yeni otopark alanları için olası etkisini ifade etmektedir. Bu kriter grubu içerisinde tanımlanan kriterler göz önüne alındığında; yeni otopark alanları nüfus yoğunluğu, konut ve iş yeri yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde olmalıdır. Ayrıca yeni otopark alanları kültürel tesislere, eğitim tesislerine, sağlık tesislerine kamu/idari tesislere, spor tesislerine, alışveriş tesislerine ve yeşil alanlara yakın yerlerde olmalıdır.

2.2. En İyi-En Kötü (BWM) Tekniği

En İyi-En Kötü (Best Worst Method-BWM) tekniği Razi (2015) tarafından ortaya atılan bir ÇKKV tekniğidir. Diğer ÇKKV tekniklerine kıyasla bu teknik, uygunluk analizleri

gibi çok kriterli karar problemlerinde daha az matematiksel işleme sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu teknikte en karar vericilerin kriterler arasındaki karşılaştırmaları ile kriter önem düzeylerini ifade eden ağırlık değerleri belirlenmektedir (Mi et al. 2019). Yönteminin çalışma süreci beş adımda ifade edilmektedir (Razei, 2015):

1. Adım: Tekniğin çalışma süreci söz konusu karar probleminin belirlenmesi ve karar sürecinde değerlendirmeye kriterlerinin $(C_i = c_1, c_2, \dots, c_n)$ tanımlanmasıyla başlamaktadır.

2. Adım: Karar vericiler/uzmanlar tarafından en iyi/önemli ve en kötü/önemsiz kriter belirlenir.

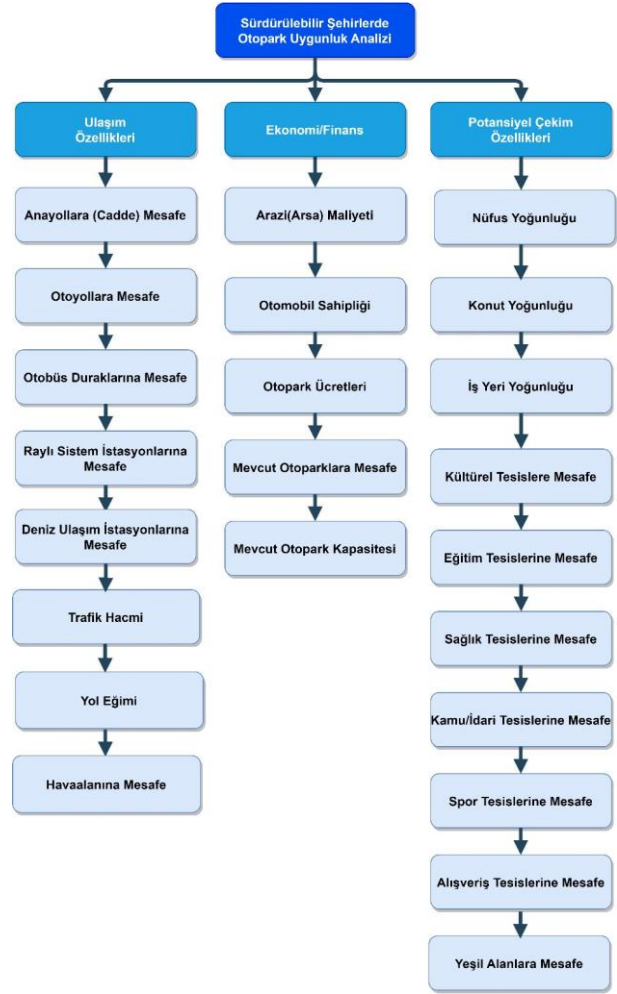
3. Adım: En iyi/önemli kriter Çizelge 1’de tanımlanan 1-9 arasındaki ölçek değerleri kullanılarak diğer kriterlerle karşılaştırılır (Akyuz et al. 2023). Karşılaştırmada en iyi/ en önemli kriterle eşit düzeyde önem içeren kriter 1 değeri ile tanımlanırken, en iyi/en önemli kriterin diğer kriterden çok daha önemli olması durumunda 9 değeri ile tanımlanmaktadır. Bu durum Eşitlik 1’de verilen karşılaştırma vektörü ile ifade edilmektedir. Eşitlikte a_{Bj} “B” en iyi/önemli kriterinin “j” kriterine göre tercih edilme durumunu göstermektedir.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

4. Adım: En kötü/en az önemli kriter Çizelge 1’de tanımlanan 1-9 arasındaki ölçek değerleri kullanılarak diğer kriterlerle karşılaştırılır. Karşılaştırmada kullanılan 1 değeri kriterlerin eşit derecede önemsiz olduğunu belirtirken, 9 değeri ise en az öneme sahip kriterin diğer kriterden çok daha önemsiz olduğunu ifade etmektedir. Bu durum Eşitlik 2’de verilen karşılaştırma vektörü ile ifade edilmektedir. Eşitlikte a_{jW} “W” en kötü/önemsiz kriterinin “j” kriterine göre tercih edilme durumunu göstermektedir.

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (2)$$

5. Adım: En iyi ve en kötü kriter karşılaştırma vektörleri yardımıyla her bir kriter için optimum ağırlık katsayıları $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ hesaplanır. En iyi kriterin sırasıyla tüm kriterlere ve tüm kriterlerin en kötü kriterle oranlanmasıyla $a_{Bj} = w_B / w_j$ ve $a_{jW} = w_j / w_W$ değerleri elde edilir. Maksimum mutlak farkların minimize edildiği Eşitlik 3’teki model kullanılarak kriter ağırlık katsayıları ve tutarlılık göstergesi (ξ^*) hesaplanır. Ayrıca $\sum_j w_j = 1$ ve $w_j \geq 0$ şartları tüm j kriterleri için yerine getirilmelidir.



Şekil 2. Otopark yer seçiminde etkili kriterlerin tanımlanması.

Çizelge 1. Önem düzeyi karşılaştırma ölçeği (Saaty, 2008).

Önem Düzeyi	Önem Derecesi	Açıklama
1	Eşit	İki kriter birbirine göre eşit önemli/önemsizdir.
3	Orta derece	Kriterlerden biri diğerinden daha önemli/önemsizdir.
5	Güçlü	Kriterlerden biri diğerinden biraz daha önemli/önemsizdir.
7	Çok önemli	Kriterlerden biri diğerine göre çok önemli/önemsizdir.
9	Son derece	Kriterlerden biri diğerine göre son derece önemli/önemsizdir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Kriterler arası karşılaştırmada ara değerleri ifade eder.

$$\min \xi$$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \quad (3)$$

$$\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi$$

Ardından Çizelge 2’de belirtilen ilgili Tutarlılık Endeks Değerleri (TED) ve ξ^* değeri kullanılarak Eşitlik 4 yardımıyla karşılaştırmaların Tutarlılık Oranı (ξ) hesaplanır.

$$\text{Tutarlılık Oranı } (\xi) = \frac{\xi^*}{\text{TED}} \quad (4)$$

Çizelge 2. Tutarlılık Endeks Değerleri tablosu (Razei, 2016).

a _{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TED	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

Tutarlılık oranı (ξ), 0-1 arasında bir değer almaktadır. Karşılaştırmaların tutarlı olabilmesi için bu oran “0” değerine yakın olmalıdır (Rezaei 2016, Uyan and Ertunc, 2023). Eğer sonuçlar tutarsız olarak belirlenirse, 3 ve 4’üncü adımdaki karşılaştırmalar tekrar edilerek kriter ağırlık katsayıları yeniden hesaplanır.

2..3 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Tekniği

Bulanık Mantık, teorisi ile Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış, daha sonra Kaufmann ve Gupta (1988) ve Zimmerman (2001) tarafından gerçek dünya probleminin daha iyi tanımlanmasına olanak tanıyan kısmi üyelik kavramı geliştirilmiştir. Bulanık mantık tekniğinde her bir konuma 0-1 arasında üyelik değeri atanmaktadır. Burada 1 değeri belirlenen bir ilgili kriterin belirli bir kümeye tam üyeliğini (uygun yer olma durumunu) ifade ederken, 0 değeri üye olmamayı (uygun yer olmama durumu) belirtmektedir. Bu tür bir analiz bir kriterin bir kümenin ne kadar parçası olduğunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Bovkir and Aydinoglu 2018, Ustaoglu *et al.* 2023). Bu kapsamda üyelik tanımı, uygulama gereksinimlerine göre değişmekte olup doğrusal, doğrusal olmayan, sürekli, sürekli olmayan, simetrik veya asimetrik olabilmektedir. Her bir kriter için özelliklerine göre farklı bulanık üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu kapsamda Şekil 3’te temsili gösterimleri verilen Lineer, Gauss ve Sigmoidal üyelik fonksiyonları en sık kullanılan fonksiyonlar arasında yer almaktadır (Ustaoglu and Kabadayı 2021). Bu çalışma kapsamında otopark uygunluk analizi kriterlerinin yapısı göz önüne alınarak coğrafi analizlerinin normalize edilmesinde Lineer Üyelik Fonksiyonu kullanılmıştır.

3. Uygulama

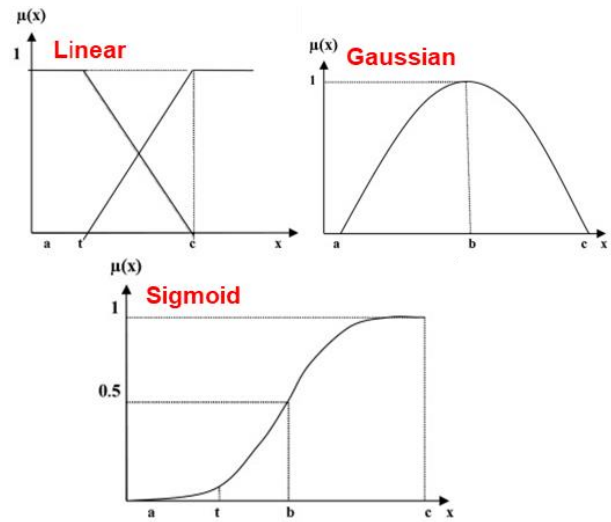
3.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi ve Veri setlerinin Elde Edilmesi

İstanbul ilinin Anadolu yakasında bulunan Pendik ve Tuzla ilçeleri, Kocaeli ilinin batısında bulunan Gebze, Çayırova ve Darıca ilçeleri çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil

3). Çalışma alanında yer alan en büyük ilçe Gebze, en küçük ilçe ise Darıca olmakla birlikte 790 km²’dir.

2022 yılı itibarıyla yapılan nüfus istatistiklerine göre Çayırova 150.792, Darıca 225.602, Gebze 396.200, Tuzla 287.793 ve Pendik 751.104 nüfusa sahiptir (TÜİK 2023a). 5 ilçeyi kapsayan çalışma alanı sahip olduğu yüksek nüfusun yanı sıra, raylı sistemler, hava, deniz ve kara gibi farklı ulaşım sistemlerini bir arada bulundurmaktadır. Bu yüzden bu bölge otopark uygunluk analizi için potansiyel test bölgesi olarak değerlendirilebilir.

Tanımlanan kriterleri temsil eden veriler farklı veri kaynakları üzerinden elde edilerek, bir veri tabanında uygulamaya hazır bir duruma getirilmiştir. Bu kapsamda yol ağı veri seti, Open Street Map (OSM) Açık Veri Portalı üzerinden temin edilmiştir (OSM 2023). Trafik hacmi, otobüs durakları, raylı sistem istasyonlarının konumlarına ilişkin veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Açık Veri Portalı üzerinden elde edilmiştir (İBB Açık Veri Portalı 2023). Eğim analizi için Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi Google Earth Pro uygulaması üzerinden elde edilmiştir.



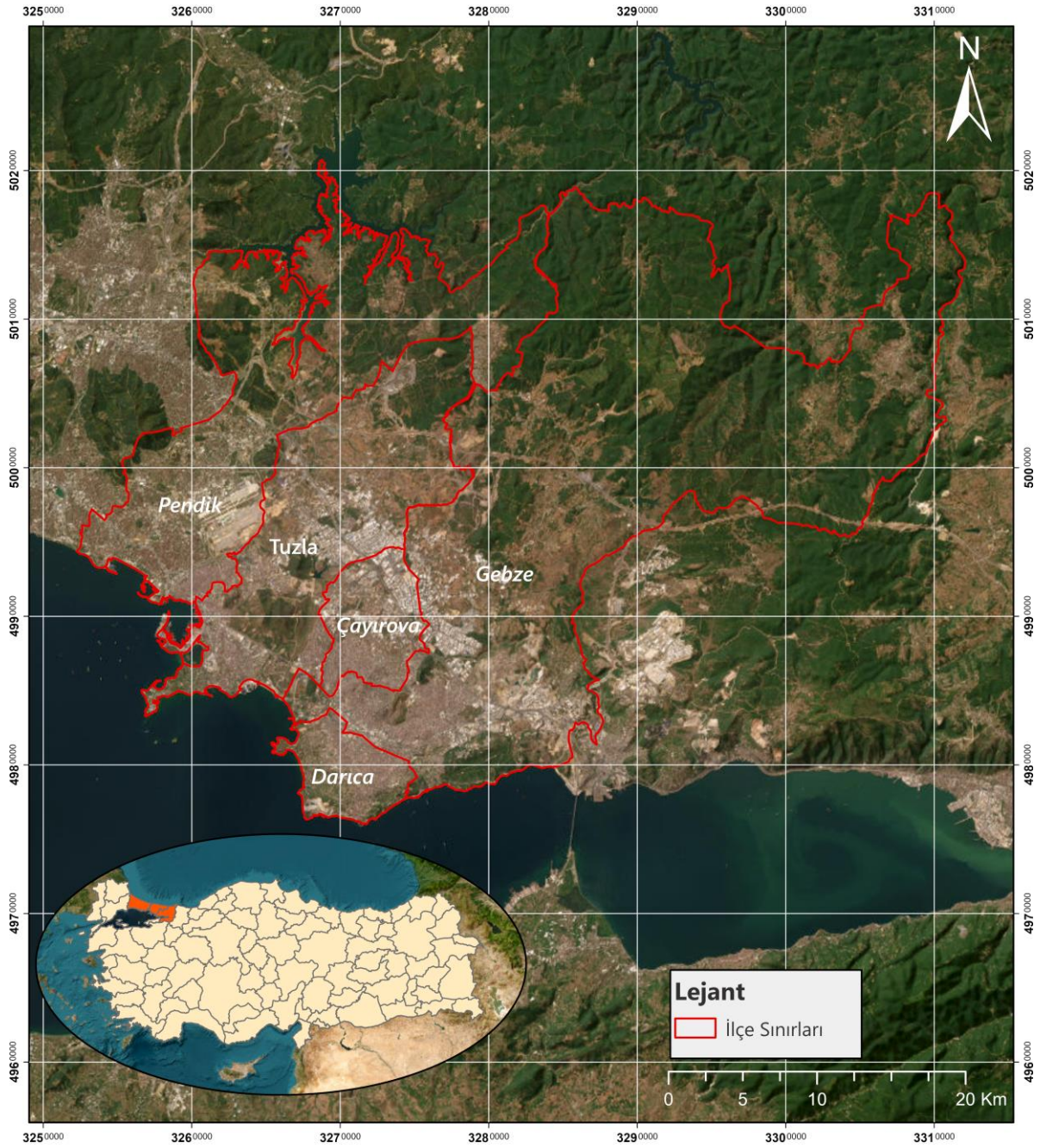
Şekil 3. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları.

Mevcut otoparklar, otopark kapasite ve ücretleri, deniz ulaşım istasyonları, kültürel tesisler, eğitim tesisleri, sağlık tesisleri, kamu/idari tesisleri, spor tesisleri, alışveriş tesisleri, yeşil alanlar ve havaalanlarına ilişkin coğrafi veriler ile iş yeri ve konut yoğunluğu verileri İBB ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi (KBB)’nden temin edilmiştir. Nüfus (TÜİK 2023a) ve otomobil sahipliği (TÜİK 2023b) verileri TÜİK platformu üzerinden elde edilmiştir.

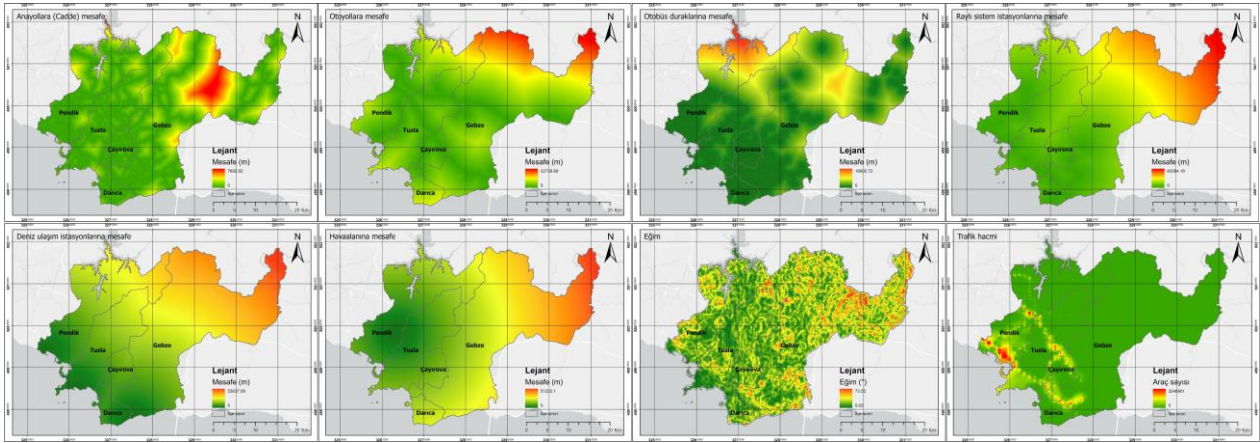
3.2 Otopark Uygunluk Kriterlerinin Coğrafi Analizleri

Çalışma alanında yer alan en Çalışma alanı otopark uygunluk için Şekil 2’de tanımlanan 23 kriteri temsil eden coğrafi veriler CBS ortamında yakınlık, yoğunluk, eğim gibi çeşitli coğrafi analiz teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerin tamamı ArcGIS Pro 3.0 CBS yazılımında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5’te ulaşım özellikleri, Şekil 6’da ekonomi/Finans Özellikleri, Şekil 7’de

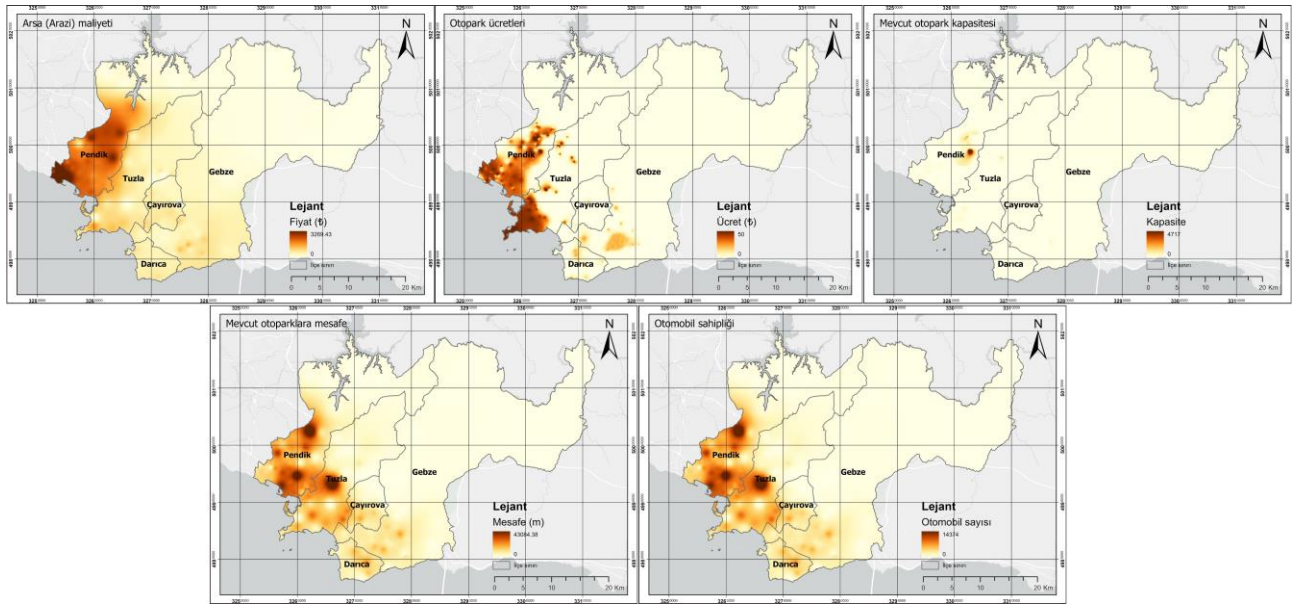
potansiyel çekim özellikleri kriterlerinin coğrafi analizlerine ilişkin sonuçlar verilmiştir. Coğrafi analizleri yapılan kriterlerin tamamı Bulanık Mantık-Lineer Üyelik fonksiyonu kullanılarak normalize edilmiş olup, 0-1 aralığında standart bir forma dönüştürülmüştür. Bulanık mantık ile lineer üyeliklerin tanımlanmasında kullanılan üyelik alt ve üst değerleri her bir kriter için Çizelge 3’te verilmiştir.



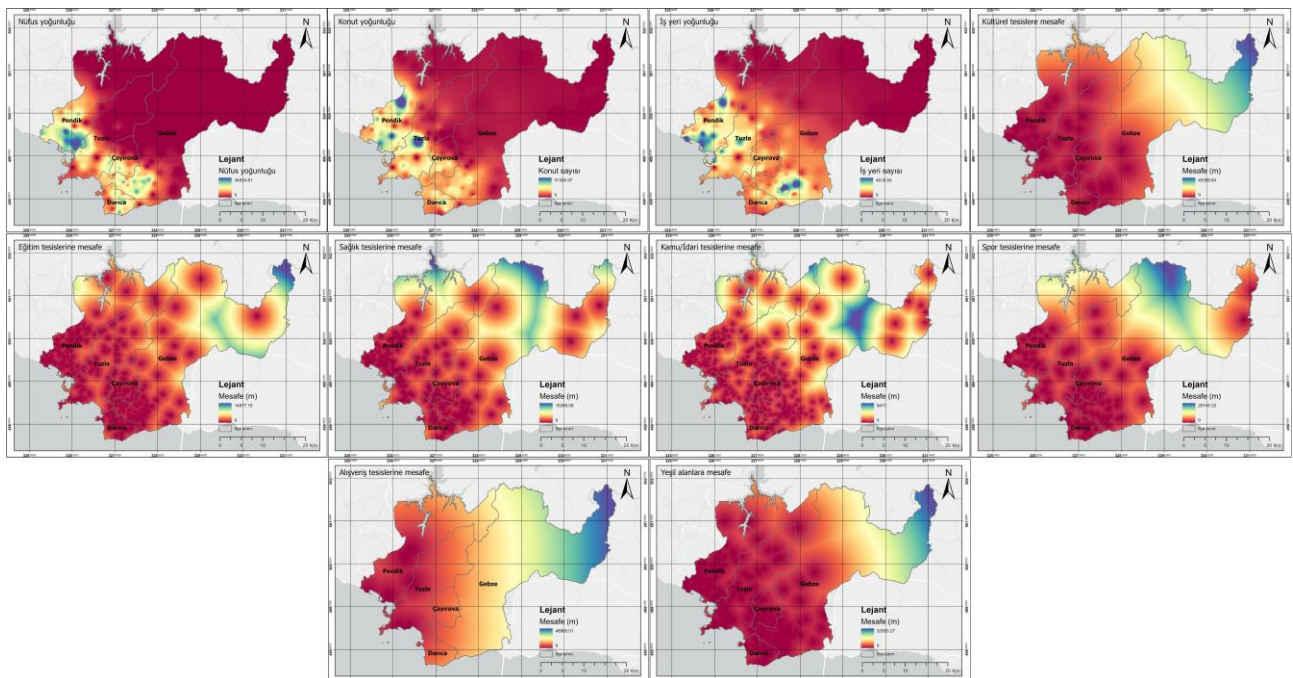
Şekil 4. Çalışma alanının belirlenmesi.



Şekil 5. Ulaşım Özellikleri kriterlerinin coğrafi analizleri



Şekil 6. Ekonomi/Finans Özellikleri kriterlerinin coğrafi analizleri.



Şekil 7. Potansiyel Çekim Özellikleri kriterlerinin coğrafi analizleri.

Çizelge 3. Bulanık lineer üyelik parametre alt ve üst değerlerinin belirlenmesi.

Kriter Grubu	Kriterler	Alt Değer	Üst Değer
Ulaşım Özellikleri	Anaarterlere(Caddelere) Mesafe	0	7662.92
	Otoyollara Mesafe	0	22739.69
	Otobüs Duraklarına Mesafe	0	18002.72
	Raylı Sistem İstasyonlarına Mesafe	0	42994.18
	Deniz Ulaşım İstasyonlarına Mesafe	0	53637.09
	Trafik Hacmi	0	3240901
	Yol Eğimi	0.3	73.55
Ekonomi /Finans Özellikleri	Havaalanına Mesafe	0	51222.1
	Arazi (Arsa)Maliyeti	0	3269.43
	Otopark Ücretleri	0	50.00
	Mevcut Otopark Kapasitesi	0	4717
	Mevcut Otoparklara Mesafe	0	43084.38
	Otomobil Sahipliği	0	14374
	Nüfus Yoğunluğu	0	34934.81
	Konut Yoğunluğu	0	31394.97
	İş Yeri Yoğunluğu	0	4518.93
	Kültürel Tesislere Mesafe	0	40399.84
Potansiyel Çekim Özellikleri	Eğitim Tesislerine Mesafe	0	14977.15
	Sağlık Tesislerine Mesafe	0	15269.08
	Kamu/İdari Tesislere Mesafe	0	9411.00
	Spor Tesislerine Mesafe	0	20746.32
	Alışveriş Tesislerine Mesafe	0	48965.01
	Yeşil Alanlara Mesafe	0	32953.27

3.3 Kriterler Önem Düzeylerinin Belirlenmesi

Otopark uygunluk analizinde belirlenen kriterlerin ağırlıklarının bulunması amacıyla doğrudan ulaşım ilişkili konular üzerine çalışan akademisyenlerin ve sektör çalışanlarının katıldığı toplam 20 kişi ile anket çalışması yürütülmüştür. Akademisyen olarak harita mühendisliği, inşaat mühendisliği, şehir ve bölge planlama bölümlerinden doktor öğretim üyesi, doçent ve profesörlerden oluşan 10 kişiye anket yapılmıştır. Sektör çalışanı olarak da kentsel ulaşım planlama, kentsel

ulaştırma sistemleri, şehir ve bölge planlama gibi konularda çalışan harita mühendisi, şehir ve bölge plancısı, mimar gibi lisans ve yüksek lisans mezunu 10 kişiye anket yapılmıştır. Her katılımcı için kriter ağırlıkları BWM tekniğiyle değerlendirilmiştir. BWM tekniği ile kriter ağırlıklarının hesaplama süreci bir katılımcının ana kriter grupları için karşılaştırmaları üzerinden örnek olarak açıklanmıştır:

1. Adım: İlk adımda değerlendirmeye alınacak karar kriterler belirlenmiştir. Bu örnekte Ulaşım, Ekonomi/ Finans ve Potansiyel Çekim Özellikleri olmak üzere 3 kriter belirlenmiştir.

2. Adım: Karar vericiler tarafından en iyi ve en kötü kriterler belirlenmiştir. Bu örnekte ulaşım özellikleri kriteri en iyi kriter olarak belirlenirken, ekonomi/ finans özellikleri en kötü kriter olarak tanımlanmıştır.

Kriterler	En İyi Kriter	En Kötü Kriter
Ulaşım Özellikleri	X	
Ekonomi/ Finans Özellikleri		X
Potansiyel Çekim Özellikleri		

3. Adım: En iyi kriter olarak belirlenen ulaşım özellikleri kriteri Çizelge 1'de ifade edilen karşılaştırma ölçeği kullanılarak diğer kriterler ile karşılaştırılmıştır.

En İyi Kriter Karşılaştırma	Ulaşım Özellikleri	Ekonomi/ Finans Özellikleri	Potansiyel Çekim Özellikleri
Ulaşım Özellikleri	1	4	2

4. Adım: En kötü kriter olarak belirlenen ekonomi/finans özellikleri kriteri Çizelge 1'de ifade edilen karşılaştırma ölçeği kullanılarak diğer kriterler ile karşılaştırılmıştır.

En Kötü Kriter Karşılaştırma	Ulaşım Özellikleri	Ekonomi/ Finans Özellikleri	Potansiyel Çekim Özellikleri
Ekonomi/Finans Özellikleri	4	1	3

5. Adım: BWM tekniğinin matematiksel modeli kullanılarak her bir kriter için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından karşılaştırmaların tutarlığı için Tutarlılık oranı (ξ) değeri hesaplanmıştır. Tutarlılık Oranı (ξ) 0 değerine oldukça yakın olduğu için karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kriterler	Kriter Ağırlıkları (w)
Ulaşım Özellikleri	0.5625
Ekonomi/Finans Özellikleri	0.1250
Potansiyel Çekim Özellikleri	0.3125
$\xi = 0.0625 - \sum w = 1.00$	

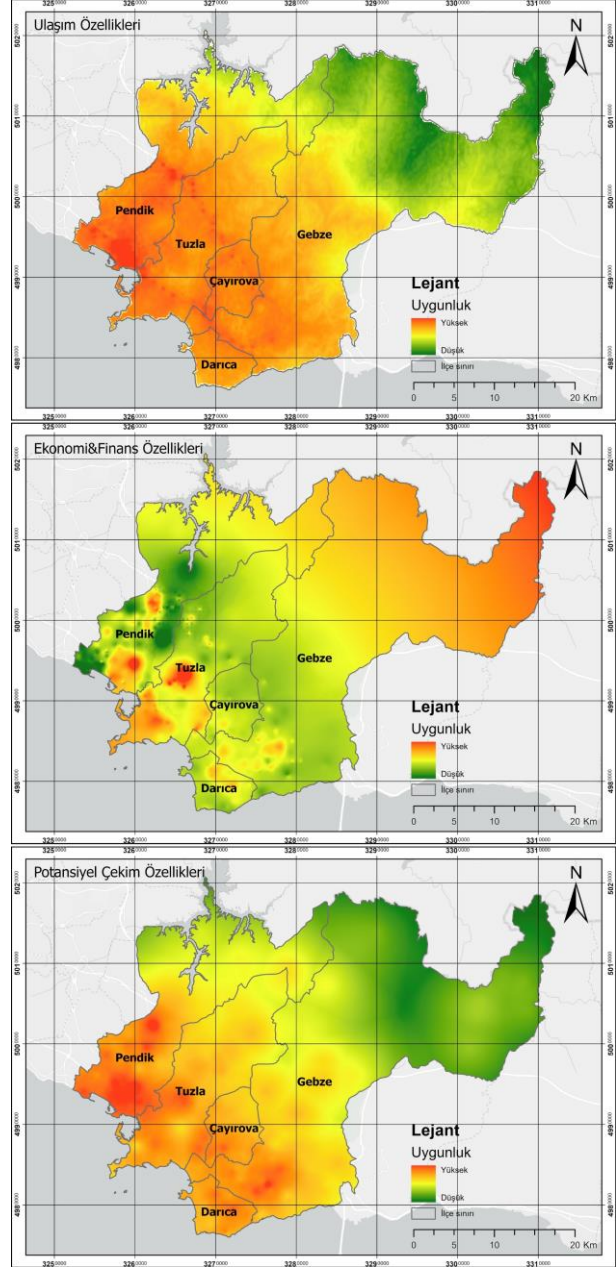
3.4 Otopark Uygunluk Haritalarının Üretilmesi

Ulaşım, Ekonomi/Finans Kriter ve Potansiyel Çekim Özellikleri kriterlerinin Bulanık Mantık yaklaşımıyla normalize edilmiş analiz sonuçları ilgili kriter ağırlıkları ile CBS ortamında kullanılarak ağırlık bindirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle Şekil 7'de görüldüğü gibi her bir ana kriter grup uygunluklarını temsil eden analiz sonuç haritaları üretilmiştir. Ana kriter gruplarının analiz sonuçları değerlendirildiğinde, Ulaşım özellikleri grubu açısından Gebze ilçesinin kuzey tarafının ormanlık alanlar olmasından dolayı otopark uygunluğunun düşük olduğu fakat Pendik ilçesinin sahil kesiminin uygunluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür. Ekonomi/Finans özellikleri grubu açısından değerlendirildiğinde Tuzla ve Pendik ilçelerinden bölgesel olarak otopark uygunluğunun yüksek olduğu alanlar gözlemlenmiştir. Potansiyel çekim özellikleri grubu açısından değerlendirildiğinde ise tüm ilçelerde uygun yerler gözlemlenirken, özellikle Pendik ilçesinin güneyinde çok yüksek uygunluk değerine sahip alanlar olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7).

Ana kriter gruplarına ilişkin uygunluk analiz sonuçları da ilgili grup ağırlıkları ile birlikte değerlendirilerek, çalışma alanı otopark uygunluk analiz sonuç haritası üretilmiştir (Şekil 8). Üretilen sonuç harita irdelendiğinde tüm ilçelerde belirli alanlarda uygun yerler tespit edilmiştir. Ancak en uygun yerler doğrudan nüfusun ve çeşitli donatı unsularının yoğun olduğu yerlerde gözlemlenmiştir. Özellikle Pendik ilçesinin güneydoğusu, Tuzla ilçesinin güney ve batı kesimleri, Gebze ilçesinin güneybatısında bölgesel olarak uygun alanlar gözlemlenmiştir (Şekil 8). Otopark uygunluk analiz sonuçlarındaki yüksek uygunluk değerine sahip alanlar Urban Atlas Kentsel Arazi Sınıfları ile CBS tabanlı çakıştırılmıştır. Bu bağlamda çalışma alanında toplam 10 alternatif otopark alanı bölgesel olarak belirlenmiştir (Şekil 8). Uygun otopark alanlarının ilçelere göre dağılımı incelendiğinde ise; Pendik ilçesinde 5 farklı konumda toplam 18.38 km², Tuzla ilçesinde 4 farklı konumda toplam 8.55 km² ve Gebze ilçesinde 6.51 km² alan bölgesel uygun alanlar olarak tespit edilmiştir.

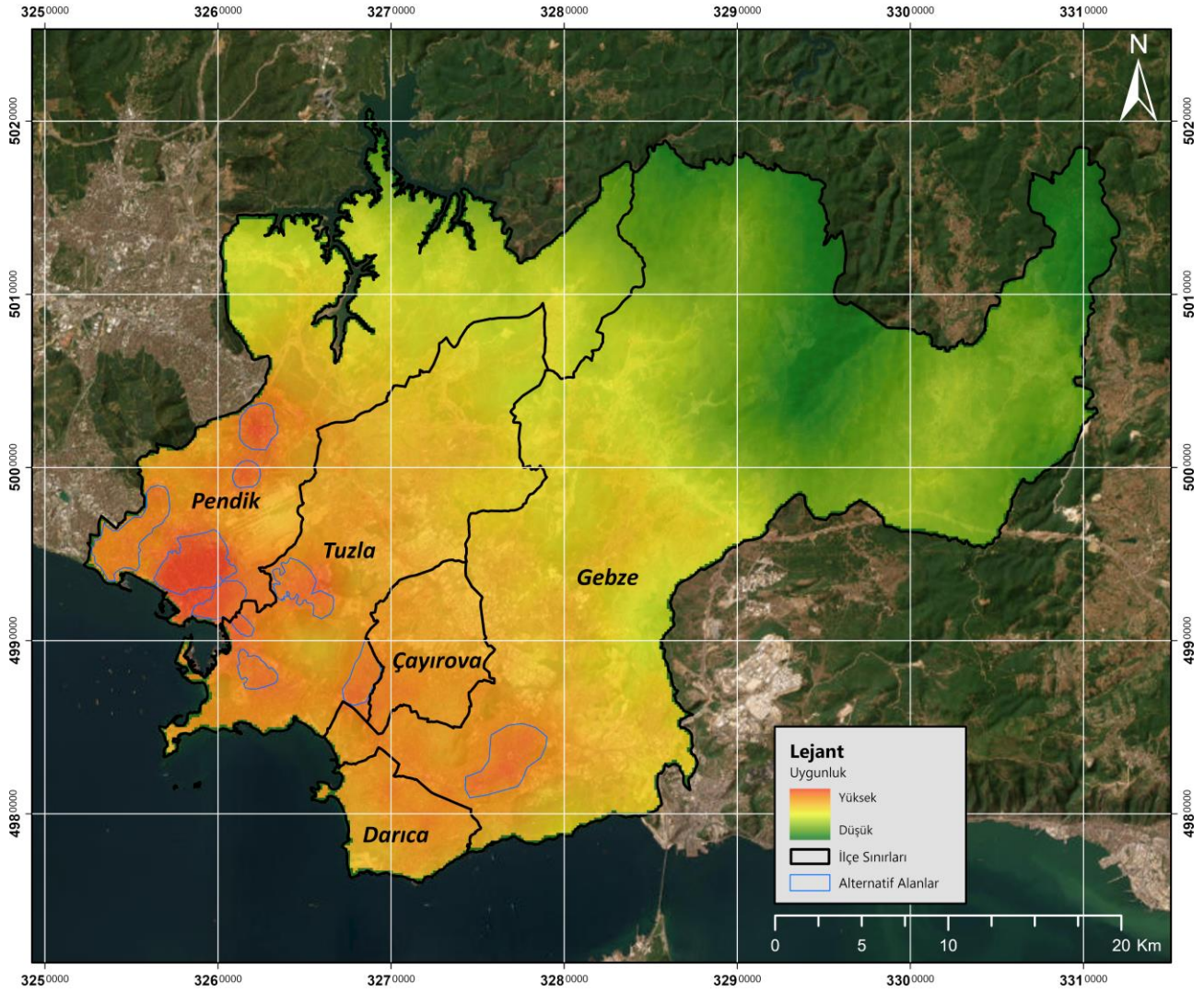
4. Sonuçlar ve Tartışma

Nüfus artışına paralel olarak son zamanlarda gittikçe kalabalıklaşan şehirlerde, trafikteki araç sayılarındaki önemli ölçüdeki artış ulaşım sistemlerini olumsuz biçimde etkilemiştir.



Şekil 7. Ulaşım, Ekonomi/Finans Kriter ve Potansiyel Çekim Özellikleri grup uygunluk analiz sonuçları.

Bu nedenle sürdürülebilir kent içi ulaşım ve etkin trafik yönetiminin bir parçası olarak değerlendirilen otoparkların kentlerde doğru yerlere konumlandırılması büyük önem arz etmektedir. Uygun yerlerde hizmet veren otopark alanları trafik yükünü ve marjinal paklanmayı azaltarak araçların hareket kabiliyetini iyileştirebilmektedir.



Şekil 8. Çalışma alanı otopark uygunluk analiz sonuçları.

Otopark alanları gibi kamu hizmetlerinin tahsisi, park verimliliğini artırmak ve ekstra maliyetten kaçınmak için doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi gereken karmaşık çok kriterli bir karar verme problemidir. Bu çalışma kapsamında şehirlerde sürdürülebilir ulaşım planlaması için ÇKKV Teknikleri ile İstanbul ilinin Tuzla ve Pendik ilçeleri ile Kocaeli ilinin Gebze, Çayırova ve Darıca ilçelerini kapsayan çalışma alanında CBS tabanlı otopark uygunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki benzer otopark yer seçimi çalışmalarında göre daha fazla kriter değerlendirmeye alınmıştır. Örneğin Demir vd. (2021) arazi kullanımı, finans ve ulaşım kategorilerinde toplam 18 kriteri değerlendirirken, bu çalışmada Ulaşım, Ekonomi&Finans ve Potansiyel Çekim Özellikleri kategorilerinde 23 kriter değerlendirmeye alınmıştır. Kriterlere ait önem düzeylerini tespit edebilmek için akademisyenler ve ilgili sektör paydaşlarının katılımıyla bir anket çalışması yürütülmüştür. Anketler ile kriter ağırlıklarını hesaplayabilmek için farklı ÇKKV teknikleri kullanılabilmektedir. Örneğin Dehghani ve Soltani (2023) BAHF tekniği ile Yılmaz ve Baykoc (2022) ise AHP tekniği

ile otopark yer seçiminde etkili kriterlerin ağırlıklarını hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise daha yeni bir ÇKKV tekniği olan En İyi-En Kötü (BWM) tekniği ile kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Tanımlanan kriterlerin her biri ilgili coğrafi analiz teknikleri ile değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının normalize edilmesinde ise CBS tabanlı farklı yaklaşımlar kullanılabilmektedir. Örneğin Ozturk ve Kilic-Gul (2020) otopark yer seçimi coğrafi analiz sonuçlarını Yeniden Sınıflandırma (Reclassify) analizi ile 1-10 aralığında standart bir duruma getirmişlerdir. Bu çalışmada literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak analiz sonuçları Bulanık Mantık yaklaşımıyla normalize edilerek tüm analizler standart bir duruma (0-1 aralığına) getirilmiştir. Ardından normalize edilmiş sonuçlar ve ilgili kriter ağırlıkları kullanılarak CBS tabanlı ağırlıklı bindirme analizi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle çalışma alanı için otopark uygunluk haritası üretilmiştir. Nüfusun ve çeşitli donatı alanlarının yoğun olarak hizmet verdiği, farklı ulaşım fonksiyonlarını içerisinde barındıran yerler uygun alanlar yerler olarak tespit edilmiştir. Özellikle Pendik ilçesinin güneydoğusu, Tuzla ilçesinin güney ve batı

kesimleri, Gebze ilçesinin güneybatısında bölgesel olarak uygun alanlar gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarındaki yüksek uygunluk değerine sahip olarak tespit edilen alanlar Urban Atlas Kentsel Arazi Sınıfları ile birlikte bütüncül biçimde değerlendirilmiştir. Böylelikle çalışma alanında toplamda 33.44 km² alana sahip 10 alternatif otopark alanı bölgesel olarak belirlenmiştir.

Kent ve ulaşım planlaması sürecinde yerel yönetimler, diğer paydaşlarla koordinasyon halinde alternatif otopark alanlarını CBS ve ÇKKV tekniklerini hibrit biçimde kullanarak belirleyebilir. Bu şekilde yerel yönetimler politika ve yatırımlarına da bağlı olarak alternatif alanlarının en etkin biçimde planlamasını gerçekleştirebilir. Sürdürülebilir şehirler ve toplumların inşası için uygun alanlara tesis edilecek otoparklar ile otomobil kullanımının yüksek olduğu şehirlerde kentsel ulaşımının kolaylaştırılması sağlanabilir. Ayrıca trafik sıklığının azaltılarak çevreye salınan karbon salınımlarının azalması sonucunda kentsel hava kalitesinin artırılmasına da katkı sağlayabilir. Bu çalışma kapsamında uygun otopark alanlarını belirleyebilmek için önerilen yaklaşım, kentsel alanlarda çeşitli yer seçimi ve yatırım planlama aktiviteleri için de uyarlanabilir. Şehir yetkililerinin rasyonel, makul, ekonomik ve çevre dostu kararlar alması için etkili bir karar destek mekanizması sağlayabilir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazma/inceleme ve düzenleme

Yazar 2: Metodoloji, Yazma – orijinal taslak, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak, Yazma/inceleme ve düzenleme

Yazar 3: Analizler, Yazma – orijinal taslak, Görselleştirme

Yazar 4: Analizler, Yazma – orijinal taslak, Görselleştirme

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında ara ve sonuç çıktı olarak üretilen veriler makalede harita olarak sunulmuştur, araştırma amaçlı üretilen veri setleri ayrıca paylaşılmamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan coğrafi verilerin temini konusunda Kocaeli Büyükşehir Belediyesi (KBB) Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Akıllı Şehirler ve Kent Bilgi Sistemleri Şube Müdürlüğü'ne, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaşım Daire Başkanlığı, Ulaşım Planlama Müdürlüğü'ne ve anketlere katılım sağlayan İSPARK İstanbul Otopark İşletmeleri Tic. AŞ çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

5. Kaynaklar / References

- Akyuz, G., Yalpir, Ş., Ertunc, E., 2023. Determining the Suitability of Lands for Agricultural Use with the Best-Worst Method. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **23(4)**, 1045-1055. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1229833>
- Alinia, K., Yarahmadi, A., Zarin, J. Z., Yarahmadi, H. and Lak, S. B., 2015. Parking lot site selection: An opening gate towards sustainable GIS-based urban traffic management, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, **43**, 801-813. <https://doi.org/10.1007/s12524-014-0415-3>
- Ari, Y. 2022. A Statistical Approach to Urbanization: The Case of Turkey. In *Promoting Statistical Practice and Collaboration in Developing Countries* (pp. 431-445). Chapman and Hall/CRC.
- Aydinoglu, A. C. and Iqbal, A. S., 2021. Determining parking demand and locating parking areas using geographic analytics methods, *Journal of Urban Planning and Development*, **147(1)**, 05020035. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.000065](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.000065)
- Babaei, A., Khedmati, M., Jokar, M. R. A., Tirkolae, E. B., 2023. Sustainable transportation planning considering traffic congestion and uncertain conditions. *Expert Systems with Applications*, **227**, 119792. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119792>
- Bibri, S. E. and Krogstie, J., 2017. The core enabling technologies of big data analytics and context-aware computing for smart sustainable cities: a review and synthesis, *Journal of Big Data*, **4**, 1-50. <https://doi.org/10.1186/s40537-017-0091-6>
- Bovkir, R., Aydinoglu, A.C., 2018. Providing land value information from geographic data infrastructure by using fuzzy logic analysis approach. *Land use policy*, **78**, 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.040>
- Bovkir, R., Ustaoglu, E., Aydinoglu, A.C., 2023. Assessment of Urban Quality of Life Index at Local Scale with Different Weighting Approaches. *Social Indicators Research*, **165(2)**, 655-678. <https://doi.org/10.1007/s11205-022-03036-y>
- D'Alpaos, C. and Andreolli, F., 2020. Urban quality in the city of the future: A bibliometric multicriteria assessment model, *Ecological Indicators*, **117**, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106575>

- Dehghani, A., Soltani, A., 2023. Site Selection of Car Parking With the GIS-Based Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 1-26.
<https://doi.org/10.1142/S0219622023500293>
- Demir, S., 2016. Use of the spatial multiple criteria decision making techniques in the selection of car parking area, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 106.
- Demir, S., Basaraner, M. and Gumus, A. T., 2021. Selection of suitable parking lot sites in megacities: A case study for four districts of Istanbul, *Land use policy*, **111**, 105731.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105731>
- Farzanmanesh, R., Naeeni, A. G. and Abdullah, A. M., 2010. Parking site selection management using Fuzzy logic and Multi Criteria Decision Making, *Environment Asia*, **3(3)**, 109-116.
- Golias, J., Yannis, G. and Harvatis, M., 2002. Off-street parking choice sensitivity, *Transportation Planning and Technology*, **25(4)**, 333-348.
<https://doi.org/10.1080/0308106022000019620>
- Hollands, R. G., 2008. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, **12(3)**, 303-320.
<https://doi.org/10.1080/13604810802479126>
- Hosseinelou, M. H., Balal, E., Massahi, A. and Ghiasi, I., 2012. Developing optimal zones for urban parking spaces by Arc GIS and AHP, *Indian Journal of Science and Technology*, **5(11)**, 3618-3622.
- İSPARK, 2016. İstanbul Otopark Ana Planı. İstanbul Otopark İşletmeleri Tic. A.Ş (İSPARK), 1. Baskı, İstanbul.
- Jelokhani-Niaraki, M. and Malczewski, J., 2015. A group multicriteria spatial decision support system for parking site selection problem: A case study, *Land Use Policy*, **42**, 492-508.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.09.003>
- Karimi, V., Ebadi, H. and Ahmady, S., 2009. Modeling of parking site selection by using GIS with emphasis on weighting and integrating layers, *Journal of Faculty of Eng*, **38(3)**, 11-21.
- Kaufmann, A., Gupta, M.M., 1988. Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science. North-Holland, Amsterdam.
- Krasić, D. and Lanović, Z., 2013. Park & Ride facility planning, *Građevinar*, **65(2)**, 111-121.
- Levy, N., Benenson, I. 2015. GIS-based method for assessing city parking patterns. *Journal of Transport Geography*, **46**, 220-231.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.06.015>
- Li, L. B., Wang, M. and Wu, B., 2009. Study on the location parking index based on function division of parking space, In ICCTP 2009: Critical Issues In Transportation Systems Planning, Development and Management, 1-8.
[https://doi.org/10.1061/41064\(358\)176](https://doi.org/10.1061/41064(358)176)
- Mi, X., Tang, M., Liao, H., Shen, W., Lev, B., 2019. The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next?. *Omega*, **87**, 205-225.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.01.009>
- Mohamed, A. A., Kronenberg, J., Łaszkiwicz, E., 2022. Transport infrastructure modifications and accessibility to public parks in Greater Cairo. *Urban Forestry & Urban Greening*, **73**, 127599.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127599>
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G. and Scorrano, F., 2014. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts, *Cities*, **38**, 25-36.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>
- Ozturk, D. and Kılıç-Gul, F., 2020. GIS-based multi-criteria decision analysis for parking site selection, *Kuwait Journal of Science*, **47(3)**, 2-14.
- Palevičius, V., Paliulis, G. M., Venckauskaite, J. and Vengrys, B., 2013. Evaluation of the requirement for passenger car parking spaces using multi-criteria methods, *Journal of Civil Engineering and Management*, **19(1)**, 49-58.
<https://doi.org/10.3846/13923730.2012.727463>
- Rezaei, J., 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega*, **53**, 49-57.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rezaei, J., 2016. Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, **64**, 126-130.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>
- Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Of Services Sciences*, **1(1)**, 83-98.

<https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

Sisman, S. and Aydinoglu, A. C., 2020. *Using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques in the smart cities*. 5th International Conference on Smart City Applications. Karabük, Türkiye, 383-389.

Toan, T.D., 2022. Smart Planning and Management Solutions for Smart Mobility. In *CIGOS 2021, Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure: Proceedings of the 6th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering and Structures*, Springer Singapore. 1397-1405.

Ustaoglu, E., Kabadayı, M.E., 2021. Reconstruction of Residential Land Cover and Spatial Analysis of Population in Bursa Region (Turkey) in the Mid-Nineteenth Century. *Land*, **10(10)**, 1077. <https://doi.org/10.3390/land10101077>

Ustaoglu, E., Sisman, S., Aydinoglu, A.C., 2021. Determining agricultural suitable land in peri-urban geography using GIS and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques. *Ecological Modelling*, **455**, 109610. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109610>

Yilmaz, C., Baykoc, O. F. 2022. A Decision Support System for Parking Lot Location Problems in Metropolises: A Case Study in Istanbul. In *International Conference on Management Science and Engineering Management*, Cham: Springer International Publishing, 124-135.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, **8**, 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

Zhang, H., Chen, M., Liang, C. 2022. Urbanization of county in China: Spatial patterns and influencing factors. *Journal of Geographical Sciences*, **32(7)**, 1241-1260. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1995-4>

Zimmermann, H.J., 2001. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, 4th edition. Springer, New York, 514 .

İnternet Kaynakları

- 1- GMR, 2022. Global Mobility Report 2022: Tracking Sector Performance (GMR). https://www.sum4all.org/data/files/global_mobility_report_2022_04052023_final.pdf, (06.12.2023)
- 2- İBB Açık Veri Portalı, 2023. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Açık Veri Portalı. <https://data.ibb.gov.tr/>, (10.07.2023)
- 3- İPA, 2023. Kent Gündemine Bakış: İstanbul'da Sürdürülebilir Ulaşım Doğru. İstanbul Planlama Ajansı (İPA). <https://ipa.istanbul/yayinlarimiz/genel/istanbulda-surdurulebilir-ulasima-dogru/>, (06.12.2023)
- 4- OSM, 2023. Open Street Map (OSM). <https://www.openstreetmap.org/>, (10.07.2023)
- 5- TÜİK, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2022 Yılı Kent-Kır Nüfus İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kent-Kir-Nufus-Istatistikleri-2022-49755>, (05.12.2023)
- 6- TÜİK, 2023a. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Nüfus ve Demografi İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>, (10.07.2023)
- 7- TÜİK, 2023b. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Ulaştırma ve Haberleşme İstatistikleri, illere Göre Motorlu Kara Taşıtları Sayısı. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulasirma-ve-haberlesme-112&dil=1>, (16.08.2023)
- 8- UN, 2023. United Nations (UN)- World Sustainable Day. <https://www.un.org/en/observances/sustainable-transport-day>, (06.12.2023)
- 9- UN-Habitat, 2022. World Cities Report 2022. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf, (05.12.2023)
- 10- UN-Interagency Report, 2021. Sustainable Transport, Sustainable Development. Interagency Report For Second Global Sustainable Transport Conference. https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-10/Transportation%20Report%202021_FullReport_Digital.pdf, (06.12.2023)