



SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT HAREKETLİLİĞİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ İÇİN YENİ BİR ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI: MEREC-RAWEC UYGULAMASI

Tayfun ÖZTAŞ^{1*}

¹Pamukkale University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, 20160, Denizli, Türkiye

Özet: Dünya genelinde her geçen yıl artan kent nüfusu, kentsel hareketliliği giderek daha karmaşık hale getirmektedir. Kent hareketliliği, çok sayıda faktörle ilişkili karmaşık bir yapıya sahip olup toplumun yaşam kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmanın temel amacı, kent hareketliliğine yalnızca ulaşım açısından değil aynı zamanda sürdürülebilirlik çerçevesinden bakarak, kentlerin performansını objektif biçimde belirlenmiş kriter ağırlıklarıyla ölçmek ve bu kentleri sıralamaktır. Bu bağlamda, MEREC-RAWEC yaklaşımı önerilmiştir. ISO 37120 standartlarının öngördüğü sürdürülebilirlik boyutlarıyla uyumlu altı kriter ve yedi alternatif üzerinden yapılan analizlerde Sürdürülebilir Hareketlilik Hazırlık Endeksi verileri kullanılmış ve MEREC yöntemiyle sürdürülebilir kent hareketliliği açısından en önemli kriterin 0,2848 ağırlık değeriyle Finans, en az önemli kriterin ise 0,0700 ağırlık değeriyle Ulaşım arzı olduğu belirlenmiştir. RAWEC yöntemiyle yapılan sıralama sonuçları ise en yüksek performansa sahip kentin Buenos Aires, en düşük performansa sahip kentin ise Cape Town olduğu belirlenmiştir. Yöntemin kriter ağırlıklarındaki değişime hassasiyetini incelemek için dört senaryo altında duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçların genel olarak tutarlı olduğu ortaya konmuştur. Sonuçların güvenilirliği test etmek amacıyla MABAC, EDAS, CODAS ve MAIRCA yöntemleri ile karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. MABAC ve MAIRCA ile aynı sonuçların, EDAS ve CODAS ile ise %89 düzeyinde korelasyonla uyumlu sonuçların elde edildiği ortaya konmuş ve yöntemin bulguları doğrulanmıştır. Son olarak, yaşanabilir ve sürdürülebilir kentlerin oluşturulması yönünde kent yönetimlerine ve karar vericilere yönelik politika önerileri sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilirlik, Kent hareketliliği, MEREC, RAWEC, Performans değerlendirme

A Novel Multi Criteria Decision Making Approach for Sustainable Urban Mobility Performance Evaluation: An Application of MEREC-RAWEC

Abstract: The continuous growth of urban populations worldwide has made urban mobility increasingly complex. As a multifaceted phenomenon shaped by diverse factors, urban mobility plays a critical role in shaping the quality of life. This study aims to evaluate urban mobility not only from a transportation perspective but also within a broader sustainability framework by assessing city performance through objectively determined criterion weights and ranking cities accordingly. For this purpose, the MEREC-RAWEC approach is proposed. The analysis was conducted using six criteria and seven alternatives aligned with the sustainability dimensions outlined in the ISO 37120 standard, drawing on data from the Sustainable Mobility Readiness Index. The MEREC results indicate that Finance (0.2848) is the most important criterion in sustainable urban mobility, while Transport Supply (0.0700) is the least significant. Using these weights, the RAWEC method ranked Buenos Aires as the highest-performing city, whereas Cape Town ranked the lowest. Sensitivity analysis under four scenarios showed that the rankings were largely stable with respect to variations in weights. To ensure robustness, the results were compared with those of the MABAC, EDAS, CODAS, and MAIRCA methods. The findings revealed full consistency with MABAC and MAIRCA and a strong correlation (89%) with EDAS and CODAS, confirming the reliability of the approach. Finally, the study offers policy recommendations for city administrations and decision-makers to foster the development of more livable and sustainable urban environments.

Keywords: Sustainability, Urban mobility, MEREC, RAWEC, Performance evaluation

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Pamukkale University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, 20160, Denizli, Türkiye

E mail: toztas@pau.edu.tr (T. ÖZTAŞ)

Tayfun ÖZTAŞ  <https://orcid.org/0000-0001-8224-5092>

Gönderi: 24 Eylül 2025

Kabul: 25 Ekim 2025

Yayınlanma: 15 Ocak 2026

Received: September 24, 2025

Accepted: October 25, 2025

Published: January 15, 2026

Cite as: Öztas, T. (2026). A novel MCDM approach for sustainable urban mobility performance evaluation: An application of MEREC-RAWEC. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 9(1), xx-xx.

1. Giriş

Dünya Bankası tarafından yayımlanan verilere göre, 1960 yılında dünya nüfusunun %34'ü kentlerde yaşarken 2024 yılında bu oran %58'e ulaşmıştır (World Bank

Group, 2025). Bu durum, artan kentleşmeyle birlikte dünya nüfusunun daha büyük bir kısmının kentsel alanlarda yaşamayı tercih ettiğini göstermektedir. Kentlerde yaşayan nüfusun artması, çeşitli zorlukları



beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların temelinde, kentleşme hızının mevcut altyapı kapasitesinin sınırlarını zorlaması ve buna karşın hızlı bir şekilde kapasite artışının sağlanamaması yatmaktadır. Kentleşme hızına bağlı olarak ortaya çıkan olumsuz sonuçları; kentsel yayılma, hava kirliliği, ulaşım ve kamusal alanların yetersizliği olarak sınıflandırmak mümkündür (United Nations Human Settlements Programme [UN-Habitat], 2025). Kentsel hareketlilik, kent sakinlerinin fiziksel, sosyo-kültürel ve ekonomik etkenlerle şekillenen ulaşım ve hareket etme davranışlarını ifade etmektedir (Korkmazıyürek ve Polat, 2019). Günlük yaşamın önemli bir parçasını oluşturan ve hem zaman yönetimi hem de yaşam kalitesi açısından kritik öneme sahip olan kentsel hareketliliği yalnızca ulaşım bağlamında değil aynı zamanda sürdürülebilirlik açısından ele almak bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır.

Ulaşımında yolcu ve yük taşımacılığının başlama ve bitiş noktaları genel olarak kentlerdir; ayrıca bu faaliyetler, birçok kentten geçilerek gerçekleştirilmektedir (Commission of the European Communities, 2009). Dolayısıyla, kentsel hareketlilik ve buna bağlı altyapılar, halkın sağlık ve yaşam kalitesini iyileştirme çabalarında belirleyici bir rol oynamaktadır (Galanakis vd., 2024). Kentsel hareketlilikten kaynaklanan zorluklar, bireylerin yaşam kalitesinin bileşenleri arasında yer alan günlük harcamalarını, ulaşım sistemlerine erişimlerini ve seyahat sürelerini doğrudan etkilemektedir (Santos vd., 2024).

Kentlerdeki ulaşım sistemleri birbiriyle çelişebilen ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlara sahip olan ve bu boyutların sürdürülebilir olması gereken karmaşık bir yapıya sahiptir (Tursun, 2025). Bu boyutlara ilişkin olarak;

- Ekonomik açıdan, kentlerdeki talebi karşılamada yetersiz kalan eski ulaşım altyapıları, ekonomi ve lojistik ile ilgili kısıtlar içeren önemli tutarlarda yatırımları gerektirmektedir (Herrera-Acevedo ve Sierra-Porta, 2025).
- Çevresel açıdan, ulaştırma sektörü, fosil yakıtlara bağımlılığı nedeniyle enerji tasarrufuna ilişkin tartışmaların en yoğun yaşandığı alanlardan biridir (Brand vd., 2021). Avrupa Yeşil Mutabakatına göre ulaştırma, Avrupa Birliği'nin sera gazı emisyonlarının dörtte birini oluşturmakta olup iklim nötrlüğü için bu emisyonların %90 azaltılması gerekmektedir (European Commission, 2019).
- Sosyal açıdan ise eşitlikçi ulaşım politikaları ile insanların gündelik hayattaki temel gidilecek yerlere ulaşımının kolaylaştırılması gerekmektedir (Santos vd., 2024).

Sürdürülebilir kent hareketliliğini (SKH) sağlayabilmek için özel araç kullanımının cazip olmaktan çıkarılması; yürüme, bisiklet gibi motorsuz ve aktif ulaştırma modlarının, kısa yolculuklarda yaygınlaşan mikromobilité araçlarının (örneğin elektrikli scooter ve elektrikli bisiklet) ve toplu taşımanın teşvik edilmesi gerekmektedir (Ağaoğlu vd., 2021; Önder ve Akdemir, 2022; Suna Gider ve Koç, 2022; Distefano ve Leonardi,

2023). Kent hareketliliğine yönelik politikaların amacına ulaşabilmesi, ilgili sektörlerin ve yönetimlerin iş birliği sonucunda ortaya çıkacak şehir planlama ve ulaşım sistemleri arasındaki koordinasyona bağlıdır (Herrera-Acevedo ve Sierra-Porta, 2025). Ayrıca, toplumsal zorluklar karar alma süreçlerine toplumun geniş katılımını gerekli kılmaktadır (Melkonyan vd., 2022). Sürdürülebilir bir dünya hedefi doğrultusunda, Avrupa ve Amerika'da klasik ulaşım planları yerini SKH planlarına (sustainable urban mobility plans, SKHP) bırakmaya başlamıştır (Korkmazıyürek ve Polat, 2019). Bu planlar; dengeli bir kalkınmayı, farklı ulaştırma modlarının entegrasyonunu, altyapı ve hizmetlerde verimliliğin artırılmasını ve maliyet etkinliğini sağlamayı amaçlamaktadır (European Commission, 2013).

Karar vericiler, kent hareketliliğine yönelik politikalar geliştirerek kent sakinleri için SKH sağlamaya çalışmaktadır. Geliştirilen politikalar, ekonomik, çevresel ve sosyal sonuçlar doğurduğundan yaşam kalitesi üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Bu çalışmada, SKH'yi etkileyen faktörler (kriterler) dikkate alınarak bir performans karşılaştırması yapılması amaçlanmaktadır. SKH, yapısında birbiriyle çelişebilen çok sayıda faktörü barındırdığından, bu çalışmada bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınmıştır. Bu amaçla, çalışmada Sürdürülebilir Hareketlilik Hazırlık Endeksi (Sustainable Mobility Readiness Index, SMRI) verisi (PwC ve MaasLab, 2024), MEREC (Method based on Removal Effects of Criteria)-RAWEC (Ranking of Alternatives with Weights of Criterion) yöntemleriyle kullanılarak seçilen kentlerin SKH performansları karşılaştırılmıştır. SMRI, bütüncül ve veri odaklı bir yaklaşımla kentlerin SKH performanslarını karşılaştırmayı mümkün kıldığı ve de karar vericiler için içgörüler sağlayarak rehberlik ettiği için (PwC ve MaasLab, 2024) bu çalışmada tercih edilmiştir. MEREC yöntemi, objektif biçimde kriterlerin önem düzeylerini belirlemeyi, RAWEC yöntemi ise düşük hesaplama karmaşıklığı ile kolayca sıralamaların elde edilmesini mümkün kıldığı için bu çalışmada kullanılmıştır. Böylece, kentlerin güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuş ve karar vericiler için yol gösterici sonuçlar üretilmesi hedeflenmiştir. Literatürde SKH'ye ilişkin performans karşılaştırmalarının sınırlı olması, bu alanda önemli bir boşluğa işaret etmektedir. Çalışmanın yapısı itibarıyla literatüre katkıları şu şekilde özetlenebilir:

- SKH'ye ilişkin kriterler, MEREC yöntemiyle nesnel olarak değerlendirilmiş ve kriterlerin karar sonuçları üzerindeki etkileri dikkate alınarak önem düzeyleri belirlenmiştir.
- Kriter ağırlıkları ve kentlerin performansları dikkate alınarak, SKH'ye ilişkin kriterler RAWEC yönteminin ideal ve ideal olmayan değerlerden sapmaya dayanan yaklaşımıyla sıralanmıştır.
- Önerilen MEREC-RAWEC yaklaşımı, kentlerin SKH performanslarının bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlamıştır.
- MEREC ve RAWEC yöntemleri bütünleştirilerek SKH literatüründe ilk kez birlikte kullanılmıştır.

- Kriter ağırlıklarındaki değişimlerin yöntem sonuçlarına etkisi duyarlılık analizi ile test edilmiş ve yöntemin sıralama kararlılığı ortaya konmuştur.
- Karşılaştırmalı analizlerle doğrulanan yöntem, kent hareketliliği alanında çalışan karar vericiler tarafından performans karşılaştırmalarında kullanılabilecek güvenilir bir araç olarak ortaya konmuştur.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir: İlgili literatür kısmında SKH bağlamında ÇKKV bakış açısıyla yürütülen çalışmalar ele alınmıştır. Materyal ve Yöntem kısmında veri seti tanıtilerak ağırlık belirlemede ve kentleri sıralama kullanılan yöntemlerin teorik arka planına ve hesaplama adımları sunulmuştur. Bulgular bölümünde SKH açısından sıralama sonuçları, duyarlılık ve karşılaştırmalı analizlerine yer verilmiştir. Tartışma ve Sonuç bölümünde bulgular irdelenmiş ve çalışmanın yönetsel uygulamalar açısından önemine, makalenin sınırlılıklarına ve ilerleyen çalışmalar için potansiyel araştırma konularına yer verilmiştir.

1.2. İlgili Literatür

SKH performansı çok boyutlu bir yapıya sahip olduğundan, araştırmacılar değerlendirmelerini farklı göstergeler ve yöntemler kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda, karşılaştırmalı performans analizleri ile çok boyutlu ve karmaşık problemleri ele alabilme imkânı sağlamaları nedeniyle ÇKKV yöntemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, SKH performansına ilişkin göstergeler, karşılaştırmalı performans değerlendirmeleri, SKH performans karşılaştırmalarında ÇKKV yöntemlerinin kullanımı ve son olarak bu çalışmada kriter ağırlığı belirlenmesi ve alternatiflerin sıralanmasında kullanılan MERECE ve RAWEC yöntemlerine ilişkin literatür taramasının bulgularına yer verilmiştir.

1.2.1. SKH performansının göstergeler ve karşılaştırmalı yaklaşımlar ile değerlendirilmesi

Kentlerin SKH hedeflerine ulaşabilmeleri için gerekli göstergelerin belirlenmesine veya kentlerin SKH performanslarının tespitine yönelik karşılaştırmalara odaklanan çalışmalar şu şekilde özetlemek mümkündür: Garau vd. (2016), İtalya'nın Cagliari kentinin SKH performansını analiz etmek amacıyla sentetik bir gösterge geliştirmiş; farklı kentlerle uluslararası düzeyde karşılaştırmalar yaparak karar vericilere ulaşım politikalarını iyileştirecek öneriler sunmuştur. Jain ve Tiwari (2017), Hindistan'daki orta büyüklükteki üç şehir için kriter tabanlı, nedensel zincir ve nedensel ağ yaklaşımlarını bir araya getiren bir metodoloji geliştirerek SKH'nin çok boyutlu yapısına uygun göstergeler belirlemiştir. Belirlenen bu göstergeler, düşük karbonlu ulaşım planlarının hazırlanma sürecinde kullanılmıştır. Bebbler vd. (2021), SKH performansını ISO 37120, ISO 37122 ve sürdürülebilir kalkınma amaçları doğrultusunda geliştirdikleri bir ölçek aracılığıyla, kent sakinlerinin algılarına dayalı olarak değerlendirmiştir. Baba Slimane ve Baouni (2021), Cezayir'in karmaşık coğrafi yapısı ile ulaşım ağı arasındaki etkileşimi sistem yaklaşımıyla ele almış ve SKH performansını

değerlendirmeye yönelik girdi ve çıktı göstergeleri belirlemiştir. Mutavdžija vd. (2024), Hırvatistan'daki küçük, orta ve büyük kentlerin SKH'ye yönelik olarak akıllı kent hareketliliği performanslarını ISO 37120 ve ISO 37122 standartları kapsamında karşılaştırmalı olarak analiz etmiş ve kentlerin bütünsel bir yönetim anlayışına ihtiyaç duyduğunu vurgulamıştır. da Silva vd. (2024), uzman görüşlerinden yararlanarak Brezilya'daki üniversite kampüslerinin SKH performanslarına yönelik on üç anahtar gösterge belirlemiş ve bu göstergeleri Friedman testi ile analiz etmiştir.

1.2.2. SKH performans karşılaştırmalarında ÇKKV yaklaşımları

SKH çok boyutlu bir yapıya sahip olduğundan, kentlerin SKH performansları kimi zaman birbirleriyle çelişen faktörlere (kriterlere) bağlı olarak belirlenmektedir. Bu doğrultuda, ÇKKV yöntemleri kentlerin SKH performanslarının tespitinde literatürde yaygın şekilde kullanılan araçlardır. Çalışmanın bu bölümünde, SKH performans karşılaştırmalarında ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalara odaklanılmıştır. İlk olarak, SKH planlama ve öncelik belirlemeye ÇKKV yaklaşımlarını kullanarak odaklanan çalışmalara ilişkin bulgular şu şekildedir: Kramar vd. (2019), SKH planlaması için öncelikleri belirlemek amacıyla bulanık AHP (Analytic Hierarchy Process), SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) analizi ve odak grup yöntemlerini birlikte kullanan bütüncül bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşım ile yaya ve bisikletliler için altyapının düzenlenmesi en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Sařabun vd. (2019), sürdürülebilir kent ulaşımında elektrikli bisikletlerin uygunluğunu eksik bilgi ortamında değerlendirmek için COMET (Characteristic Objects Method) yönteminden yararlanmış ve belirsizlik altında SKH performansının ÇKKV yöntemleriyle ele alınabileceğini göstermiştir. Jasti ve Vinayaka Ram (2019), Mumbai metro ağı için bulanık mantık ve AHP tabanlı bir yaklaşımla sürdürülebilirlik ve performans kıyaslama ölçütü (benchmark) modeli önermiştir. Damidavičius vd. (2020), uzman görüşlerinden faydalanarak Litvanya şehirlerinde sürdürülebilir ulaşım için alınacak önlemleri COPRAS (Complex Proportional Assessment), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), ARAS (Additive Ratio Assessment) ve EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yöntemleriyle ele almış ve toplu taşıma araçlarının teşvik edilmesini SKH için en önemli tematik alan olarak belirlemiştir.

Kent özelinde ya da bölgesel ölçekte SKH performans karşılaştırmalarına odaklanan çalışmalara ilişkin bulgular şu şekildedir: Morfoulaki ve Papathanasiou (2021), Yunanistan'da SKHP uygulamaları için alınacak önlemlerin ve politikaların sıralanması için PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) yöntemini kullanmış ve kent merkezindeki ticari aksın 3 km'lik bir yaya yoluna dönüştürülmesi en önemli ölçüm olarak belirlemiştir. Senne vd. (2021), Brezilya'nın Sao Paulo kentinde yolcu ve yük taşımacılığını sürdürülebilirlik ile bütünsel

ulaştırma açısından değerlendirmek için AHP yöntemine dayanan bir endeks geliştirmiştir. Uzman değerlendirmeleri sonucunda en önemli politikanın kentsel toplu taşımanın teşvik edilmesi olduğu tespit edilmiştir. Hajduk (2022), 44 akıllı kentin ulaşım performanslarını Entropi ve TOPSIS yöntemleriyle karşılaştırmıştır. Trafik kazalarında ölüm sayısı en önemli kriter, hafif yolcu toplu taşıma sistemi ise en düşük öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Ayrıca, Portland en iyi, Tiflis ise en kötü performans sergileyen kentler olarak saptanmıştır. Aydın vd. (2022), İstanbul'un Anadolu yakasında farklı ulaştırma modlarının birlikte kullanılmasını sağlayarak çevresel etkileri azaltabilen mobilite merkezleri için en uygun konumları belirlemek amacıyla aralıklı tip-2 bulanık AHP ve WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) yöntemlerini birlikte kullanmış ve Kadıköy'ü en uygun konum olarak belirlemiştir. Kundu vd. (2023), sürdürülebilir şehirler için en uygun ulaştırma sistemini belirleyebilmek için bulanık BWM (Best Worst Method) ve MAIRCA (Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) yöntemlerini birlikte kullanmış ve yatırım maliyetini en önemli, çalışma hızını en düşük önemli kriterler olarak, banliyö trenlerini ise en uygun alternatif olarak belirlemiştir. Aquilué Junyent vd. (2024), SKH bağlamında paylaşımlı hareketlilik merkezlerinin mekânsal planlanması için coğrafi bilgi sistemleri ile AHP yöntemini bütünleştirmiş ve İspanya'nın Barselona kenti için örnek bir uygulama yürütmüştür. Analiz sonucunda merkez seçiminde hareketlilik en önemli kriter olarak belirlenmiştir.

Güncel ve mikro ölçekli eğilimlere odaklanan çalışmalara ilişkin bulgular şu şekildedir: Yildirim vd. (2024), elektrikli araç paylaşım istasyonlarının yer seçimi için Fermatean bulanık PIPRECIA (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment) ve VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerini bir araya getirmiş ve SKH için alt yapı planlamasına yönelik bir ÇKKV uygulaması yürütmüştür. Analiz sonucunda araç paylaşım istasyonları için yer seçiminde mevcut şarj alt yapısı en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Moslem (2024), İrlanda'nın Dublin kentinde toplu taşıma sisteminin sürdürülebilir çözümlerle kalitesini artırmaya yönelik olarak AHP temelli bir model geliştirmiştir. Geliştirilen model ile en önemli ana kriter ulaştırma kalitesi olarak belirlenmiştir. Akram vd. (2024), Sırbistan'ın Belgrad kentinde sürdürülebilir ulaşım sorunlarına çözüm aramak amacıyla Pisagor bulanık kaba sayılarla Entropi ve MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking According to Compromise Solution) yöntemlerini birlikte kullanmış ve elektrikli bisikletleri en uygun paylaşımlı hareketlilik sistemi olarak belirlemiştir. Andrade ve Sawicka (2025), park et devam et (park and ride) tesislerinin yer seçimi için hizmet alanı (catchment area) ve TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmıştır.

1.2.3. MEREC ve RAWEC yöntemlerine ilişkin literatür

Çalışmanın bu kısmında kriter ağırlıklarını belirlemek ve şehirleri SKH performanslarına göre sıralamak için kullanılan MEREC ve RAWEC yöntemlerinden faydalanmış olan son yıllardaki çalışmalara ilişkin literatür ele alınmıştır.

RAWEC yöntemi, Puška, Štilić vd. (2024) tarafından yakın zamanda literatüre kazandırılmış ÇKKV yöntemlerinden biridir. RAWEC yönteminin uygulama örneklerinden bazıları şu şekildedir: Puška, Nedeljković vd. (2024), Bosna-Hersek'te tarımsal sürdürülebilirliği artırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu ele alırken, karar sürecinde kriter ağırlıklarını DiWeC (Direct Weight Calculation) yöntemiyle belirlemiş, alternatifleri ise bulanık RAWEC yöntemiyle sıralamıştır. Akbulut ve Aydın (2024), Türkiye'deki mevduat bankalarının sürdürülebilirlik performanslarını belirlemek için MSD (Modified Standard Deviation), MPSI (Modified Preference Selection Index) ve RAWEC yöntemlerini bütünleşik bir yaklaşımla kullanmıştır. Demir ve Chatterjee (2025), kişiselleştirilmiş tedavi stratejilerini belirlemek için bulanık LMAW (Logarithm Methodology of Additive Weights) ve bulanık RAWEC yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Shamsi vd. (2025), yeşil ve iklim dostu madencilik anlayışıyla örtü tabakası atıklarının sürdürülebilir yönetimi için rastgele ağırlıklı bulanık AHP, bulanık Delphi ve Z Sayılar-RAWEC yöntemlerini içeren üç aşamalı bir karar verme çerçevesi önermiştir. Özekenci (2025), Avrupa başkentlerinin ekonomik sürdürülebilirlik performanslarını karşılaştırmak için MEREC, RAWEC, genişletilmiş AROMAN (Alternative Ranking Order Method Accounting for Two-step Normalization) ve MARA (Magnitude of the Area for the Ranking of Alternatives) yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Durmuş (2025), Türkiye'nin yenilenebilir enerji performansını MSD, CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) ve RAWEC yöntemlerini bütünleştiren bir metodoloji ile değerlendirmiştir. Dündar ve Karadağ (2025), bir kozmetik firması için en uygun yatırım yeri seçimi problemini bulanık LBWA (Level Based Weight Assessment) ve RAWEC yöntemlerini kullanarak ele almıştır. Dündar (2025), kırsal kalkınma programlarının etkinliğini DIBR (Defining Interrelationships Between Ranked Criteria) ve RAWEC yöntemleriyle değerlendirmiştir. Katrancı vd. (2026), yapımı planlanan bir katı atık bertaraf tesisi için teknoloji seçimini bulanık SIWEC (Simple Weight Calculation) ve bulanık RAWEC yöntemleriyle gerçekleştirmiştir.

RAWEC yöntemine ilişkin literatür incelendiğinde, yöntemin yalnızca enerji ve çevre gibi sürdürülebilirlik odaklı alanlarda değil, aynı zamanda finans, sağlık, yatırım politikaları gibi farklı disiplinlerde de uygulama alanı bulduğu görülmektedir. Bu çeşitlilik, RAWEC yönteminin esnek yapısı sayesinde giderek artan şekilde tercih edildiğini göstermektedir. Dolayısıyla, RAWEC yönteminin uygulama potansiyeline işaret etmektedir.

Literatürde, kriter ağırlıklarını belirlemek için MEREC

yöntemini kullanan çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Narayanamoorthy vd. (2022), yenilenebilir enerji santrali için yer seçimi probleminde, Fermatean bulanık kümelerle dayalı MEREC ve MULTIMOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis with Full Multiplicative Form) yöntemlerini kullanmıştır. Esangbedo ve Tang (2023), işletmelerin karbonsuzlaşma planlarını gri MEREC ve MAIRCA yöntemleriyle değerlendirmiştir. Gamal vd. (2023), lojistik sektöründe otonom araç seçiminde Tip-2 nötrosofik sayıları kullanan MEREC ve CoCoSo (Combined COMPromise Solution) bütünsel yaklaşımından faydalanmıştır. Çelebi Demirarslan vd. (2024), yaşam kalitesi endekslerini kullanarak Asya ülkelerini değerlendirmek için MEREC, LOPCOW (Logarithmic Percentage Change-Driven Objective Weighting) ve MPSI yöntemlerini kullanmıştır. Olteanu (Burcă) vd. (2024), Avrupa'da Çevresel, Sosyal ve Yönetişim (Environmental, Social, and Governance-ESG) faktörleri temelinde sektörel bazda yatırım kararlarını önceliklendirmek için MEREC ve AROMAN yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Ozdemir vd. (2024), Avrupa Birliği (AB) üyelerinin Avrupa Yeşil Mutabakatı performanslarını MEREC, MAIRCA yöntemleriyle değerlendirmiştir. Abdelaal vd. (2024), yükseköğretim kurumlarında stratejik amaç ve planların önceliklendirilmesi için geometrik ortalama temelli bulanık MEREC ve bulanık TOPSIS bütünsel yöntemini kullanmıştır. Akpınar (2025), küresel tedarik zincirlerinde kırılganlıkları dikkate alan sürdürülebilir tedarikçi seçimi problemi için MEREC ve CoCoSo yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Pelit ve Avşar (2025), Türkiye'nin uluslararası düzeydeki karbon emisyon profilini değerlendirmek için MEREC-PROMETHEE II yaklaşımını benimsemiştir. Ertuğrul ve Özdarak (2025), havayolu firmalarının performanslarını değerlendirmek için MEREC, CoCoSo bütünsel yöntemini kullanmıştır. MEREC yöntemine ilişkin literatür taraması bulguları, yöntemin öznelliği azaltma amacıyla tercih edildiğini ortaya koymaktadır. Yöntemin çok sayıda farklı yöntemle birlikte kullanılması, hibrit modellere kolayca entegre edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca, enerji, çevre, sağlık, eğitim ve lojistik gibi farklı alanlarda uygulanması, yöntemin disiplinler arası kabul gördüğünü ve araştırmacılar tarafından giderek daha fazla tercih edildiğini ortaya koymaktadır. SKH performans değerlendirmelerinde gösterge temelli çalışmalar ile ÇKKV yöntemlerinin araştırmacılar tarafından yaygın şekilde tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmalar genellikle dar bir coğrafi alana (örneğin tek bir şehir ya da ülke) veya belirli yöntemlere odaklanmaktadır. Özellikle ÇKKV çalışmalarında, kriter ağırlıklarının öznel değerlendirmelere dayanan yaklaşımlarla belirlendiği görülmektedir. Bu çalışmada da kullanılan MEREC ve RAWEC yöntemleriyle ilişkili literatürün yıllar içinde giderek genişlediği ancak, kent hareketliliği alanında çalışmaların henüz sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada MEREC-RAWEC yöntemi, literatürdeki önceki uygulamalardan farklı olarak SKH performansının değerlendirmesinde ilk kez

kullanılmıştır. Böylece literatüre, yöntemsel katkının yanı sıra yapılan detaylı analizlerle yöntemin tutarlılığı ve güvenilirliği doğrulanarak uygulama katkısı da sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Veri

Bu çalışmada, kentlerin SKH performansları PwC ve MaasLab (2024) tarafından hazırlanan SMRI verisi kullanılarak MEREC-RAWEC yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan endeks, kentlerin sürdürülebilir hareketlilik çözümlerini benimseme ve bunları sürdürme konusundaki hazırlık durumlarını değerlendirmek için oluşturulmuş olup, kent hareketliliğini altı boyut altında altmış sekiz gösterge ile değerlendirmektedir (PwC ve MaasLab, 2024). Yapılan analizlerde, kentlerin performansları bu boyutlar (kriterler) çerçevesinde değerlendirilmiş olup, söz konusu boyutlar ve kapsamaları genel olarak şu şekilde sunulmuştur (PwC, 2024):

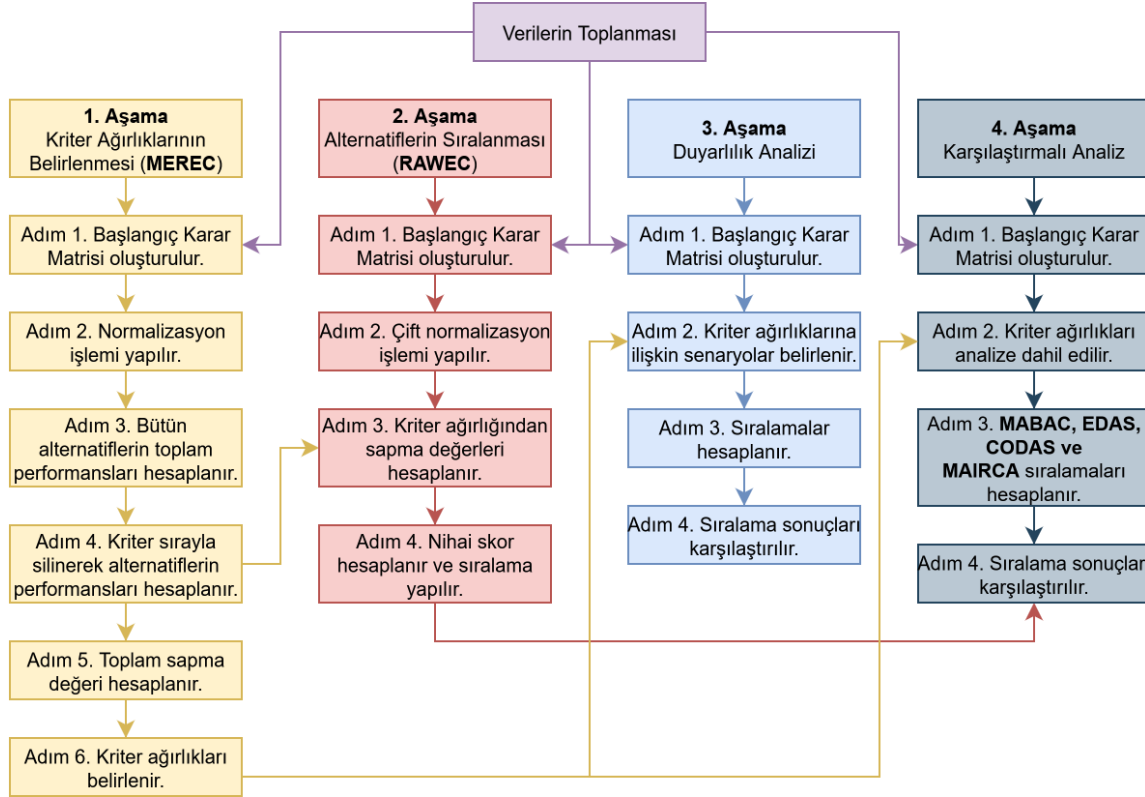
- *Ulaşım arzı (K1)*: Bu kriter, kentlerde sunulan ulaşım altyapısının ve hizmetlerin kapsam ve niteliği ile ilgilidir. Bu kapsamda, erişilebilirlik, kapsama alanı, kapasite, işletme saatleri, mikro mobilite, bisiklet-yaya ağları, farklı modları arasındaki bağlantı ve entegrasyon, şarj ve lojistik altyapısı gibi konulara ilişkin ölçümleri içermektedir.
- *Ulaşım talebi (K2)*: Bu kriter, bireylerin sürdürülebilir seyahat davranışları, yol güvenliği, araç sahiplik oranı, özel araçlar için yakıt ve talep odaklı ulaşım maliyetleri, yürünebilirlik düzeyi ve teknolojiye aşinalık gibi konulara ilişkin ölçümleri içermektedir.
- *Yenilik (K3)*: Bu kriter, teknolojiye ilişkin gelişmelerin kentsel ulaşım sistemlerine yansımalarıyla ilgilidir. Açık veri, 4G/5G altyapısını kullanarak çalışan akıllı çözümler, dijital hizmetler (akıllı biletleme, park ve yolculuk planlayıcılar gibi) ile bağlantılı ve otonom araçların yaygınlığı ve bunların olgunluk düzeyi gibi konulara ilişkin ölçümleri içermektedir.
- *Politikalar (K4)*: Bu kriter, SKH kapsamında stratejik planlama (örneğin, stratejik ulaşım planları veya SKHP), izleme ve değerlendirme mekanizmaları, açık veri ve teknoloji politikaları ile sürdürülebilirlik ve iklim politikaları gibi alanlara yönelik ölçümleri kapsamaktadır.
- *Finans (K5)*: Bu kriter, yatırımlar, teşvik mekanizmaları destekler ile ortaklık ve finansman modellerine yönelik kaynak tahsisi ve finansal destek kapasitesiyle ilgili ölçümleri kapsamaktadır.
- *Çevre ve enerji (K6)*: Bu kriter, SKH performansını çevresel ve enerji boyutlarıyla ele almaktadır. Ölçümler, hava kalitesi, yenilenebilir enerji kullanımı ve enerji verimliliği, emisyonlar ve iklim hedefleri (net sıfır ya da karbon nötr taahhütleri) gibi alanları içermektedir.
- SMRI verisi, beş kıtadan yirmi altı kentin sürdürülebilir kent hareketliliği düzeyini ortaya koymak amacıyla oluşturulmuş olup, her bir kriterin

değeri 0 ile 10 arasında hesaplanmıştır (PwC ve MaasLab, 2024). SKH performansına ilişkin tüm kriterler, kentlerin performansını olumlu yönde etkilediği için analiz sürecinde *fayda* yönlü olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Yöntem

Kentlerin SKH performanslarını değerlendirmek amacıyla bu çalışmada dört aşamalı bir yaklaşım benimsenmiştir. İlk aşamada, kentlerin SKH performansını etkileyen kriterlerin ağırlıkları (önem

düzeylerini) MEREC yöntemiyle belirlenmiştir. İkinci aşamada, kentlerin SKH performans sıralamaları RAWEC yöntemiyle elde edilmiştir. Üçüncü aşamada, önerilen MEREC-RAWEC yaklaşımının kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı hassasiyetini ölçmek amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise MEREC-RAWEC yaklaşımının sonuçlarının güvenilirliği karşılaştırmalı analiz ile test edilmiştir. Çalışmada benimsenen yaklaşımın akış diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Akış diyagramı.

2.2.1. MEREC yöntemi

MEREC yöntemi, objektif kriter ağırlığı belirleme yöntemlerinden biridir. Yöntemin temel prensibi, bir kriterin silinmesi nedeniyle ortaya çıkan etkinin büyüklüğünün o kriterin önem düzeyine işaret etmesidir. Yani, bir kriter silindiğinde alternatiflerin toplam performansındaki değişime etkisinin büyüklüğü, o kriterin önem düzeyine işaret etmektedir (Keshavarz-Ghorabae vd., 2021). MEREC yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarını belirleyebilmek için gerekli adımlar şu şekildedir (Keshavarz-Ghorabae vd., 2021, ss. 7-9):

1. *Adım:* m alternatif, n kriterden oluşan ve pozitif elemanlara sahip karar matrisi (X) oluşturulur. Oluşturulan karar matrisi eşitlik 1'de gösterildiği gibidir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. *Adım:* Kriterler arasındaki ölçüm farklılıklarını ortadan

kaldırmak adına normalizasyon işlemi yapılır ve normalize karar matrisi (N) elde edilir. Kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olmasına bağlı olarak eşitlik 2 ve eşitlik 3 kullanılarak $n_{ij} \in N$ elde edilir.

$$n_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}} \quad (\text{Fayda yönlü kriterler için}) \quad (2)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}} \quad (\text{Maliyet yönlü kriterler için}) \quad (3)$$

3. *Adım:* Bütün alternatiflerin toplam performansı (S_i), eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır.

$$S_i = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |\ln(n_{ij})| \right) \right) \quad (4)$$

4. *Adım:* Her bir kriter silinerek alternatiflerin performansları hesaplanır. j 'nci kriterin silinmesinden sonra i 'nci alternatifin performansı (S'_{ij}), eşitlik 5 kullanılarak hesaplanır.

$$S'_{ij} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{n} \sum_{k \neq j} |\ln(n_{ik})| \right) \right) \quad (5)$$

5. *Adım*: Kriter silmenin etkisini hesaplayabilmek için toplam sapma değeri (E_j), eşitlik 6 kullanılarak hesaplanır.

$$E_j = \sum_{i=1}^m |S'_{ij} - S_{ij}| \quad (6)$$

6. *Adım*: Toplam sapma değerleri kullanılarak kriter ağırlıkları (w_j), eşitlik 7 kullanılarak elde edilir.

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_j E_j} \quad (7)$$

2.2.2. RAWEC yöntemi

RAWEC yöntemi, literatüre yakın dönemde kazandırılmış ÇKKV yöntemlerinden biridir. Yöntemin temel prensibi, basit ve az sayıda hesaplama adımları sayesinde literatüre son zamanlarda kazandırılan yöntemlerin hesaplama sürecinde içerdiği gibi karmaşıklığa sahip olmamaktadır (Puška, Štilić, vd., 2024). RAWEC yöntemiyle alternatifleri sıralayabilmek için uygulanması gereken adımlar şu şekildedir (Puška, Štilić, vd., 2024, ss. 5-6).

1. *Adım*: MEREC Yönteminin ilk adımında olduğu gibi m alternatif, n kriterden oluşan karar matrisi (X) oluşturulur.

2. *Adım*: Kriterler arasındaki ölçüm farklılıklarını ortadan kaldırmak adına çift normalizasyon işlemi yapılır ve normalize karar matrisleri (N) ve (N') elde edilir. Kriterlerin fayda ya da maliyet yönlü olmasına bağlı olarak eşitlik 8 ve eşitlik 9 kullanılarak $n_{ij} \in N$ ile $n'_{ij} \in N'$ elde edilir.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}} \text{ ve } n'_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}} \text{ (Fayda yönlü kriterler için)} \quad (8)$$

$$n_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}} \text{ ve } n'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}} \text{ (Maliyet yönlü kriterler için)} \quad (9)$$

Yapılan ilk normalizasyon işlemi sonucunda ($n_{ij} \in N$) bütün kriterler fayda yönlü kriterlere dönüştürülür ve en büyük değere sahip olan alternatif 1 değerine sahip olur. İkinci normalizasyon işlemi sonucunda ($n'_{ij} \in N'$) ise bütün kriterler maliyet yönlü kriterlere dönüştürülür ve en küçük değere sahip olan alternatif 1 değerine sahip olur.

3. *Adım*: Kriter ağırlığından sapma hesaplanır. Normalize karar matrisleri ve belirlenen kriter ağırlıkları eşitlik 10 ve eşitlik 11 kullanılarak sapma değerleri v_i ve v'_i hesaplanır.

$$v_i = \sum_{j=1}^n w_j (1 - n_{ij}) \quad (i = 1, \dots, m) \quad (10)$$

$$v'_i = \sum_{j=1}^n w_j (1 - n'_{ij}) \quad (i = 1, \dots, m) \quad (11)$$

4. *Adım*: Alternatiflerin nihai skorları (Q_i), eşitlik 12 ile hesaplanır. Bu skorlar -1 ile 1 arasındadır ve en yüksek skorlu alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

$$Q_i = \frac{v'_i - v_i}{v'_i + v_i} \quad (12)$$

3. Bulgular

Bu çalışmada SMRI (PwC ve MaasLab, 2024) verisi kullanılarak, seçilen kentlerin SKH performansları MEREC-RAWEC yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Söz konusu endeks, anlamlı şekilde karşılaştırma yapılabilmesi için şehirleri üç kategori altında gruplandırmıştır. Çalışmada bu kategorilerden gelişmekte olan (developing) şehirler ele alınmış olup, söz konusu şehirler ve belirlenen kriterlere göre oluşturulan başlangıç karar matrisi Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Başlangıç karar matrisi*

Alternatif	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Bogota (A1)	4,2	6,2	3,7	3,6	6,4	5,5
Buenos Aires (A2)	4,0	7,8	6,6	5,8	3,9	6,0
Cape Town (A3)	5,2	3,9	4,9	5,7	2,4	5,5
İstanbul (A4)	5,9	6,1	5,3	8,2	4,8	3,3
Riyad (A5)	4,2	5,5	4,9	7,1	3,8	3,5
São Paulo (A6)	4,8	5,5	4,7	3,8	7,1	6,3
Yeni Delhi (A7)	5,1	6,7	5,4	6,3	6,3	3,1
Ortalama	4,77	5,96	5,07	5,79	4,96	4,74
Minimum	4,00	3,90	3,70	3,60	2,40	3,10
Maksimum	5,90	7,80	6,60	8,20	7,10	6,30

*Kaynak: PwC ve MaasLab (2024)

Tablo 1 incelendiğinde, kentlerin bazı kriterlerde güçlü, bazı kriterlerde ise zayıf performans sergilediği ve bu nedenle performanslarının kriterler arasında farklılık gösterdiği gözlemlenmektedir. Alternatiflerin performans değerlerinin 2,4 (A3, K5) ile 8,2 (A4, K4)

arasında değiştiği görülmektedir. Buenos Aires (A2), özellikle K2 (7,8) ve K3 (6,6) kriterlerinde en yüksek değerlere ulaşarak öne çıkmaktadır. İstanbul (A4) ise K1 (5,9) ve K4 (8,2) kriterlerinde en yüksek performansı göstermektedir. São Paulo (A6), K5 (7,1) ve K6 (6,3)

kriterlerinde ön plana çıkmaktadır. Bogota (A1), K3 ve K4 kriterlerinde; Cape Town (A3), K2 ve K5 kriterlerinde ve Yeni Delhi (A7), K6 kriterinde en düşük performans değerlerini göstermektedir. Riyad (A5) ise genel olarak orta düzeyde değerlere sahip olup, dengeli bir performans sergilemektedir.

Tablo 1'de verilen başlangıç karar matrisi hem MEREC hem de RAWEC yöntemlerinde kullanılmıştır. Bu matris

oluşturulduktan sonra, kriter ağırlıkları belirlenirken öncelikle eşitlik 2 veya eşitlik 3 kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Böylelikle kriterler arasındaki ölçüm farklılıkları ortadan kalkar ve ölçüm değerleri [0,1] aralığına dönüştürülür. Ardından eşitlik 4 kullanılarak bütün alternatifler için toplam performans (S_i) hesaplanır. Hesaplanan normalize karar matrisi ile alternatiflerin S_i değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Normalize karar matrisi ve toplam performans değerleri

Alternatif	N						S_i
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
A1	0,9524	0,6290	1,0000	1,0000	0,3750	0,5636	0,2960
A2	1,0000	0,5000	0,5606	0,6207	0,6154	0,5167	0,3937
A3	0,7692	1,0000	0,7551	0,6316	1,0000	0,5636	0,2332
A4	0,6780	0,6393	0,6981	0,4390	0,5000	0,9394	0,3801
A5	0,9524	0,7091	0,7551	0,5070	0,6316	0,8857	0,2793
A6	0,8333	0,7091	0,7872	0,9474	0,3380	0,4921	0,3615
A7	0,7843	0,5821	0,6852	0,5714	0,3810	1,0000	0,3700

Örnek olarak, Tablo 2'de yer alan normalize karar matrisi değerlerinden n_{11} şu şekilde hesaplanmıştır: K1 kriteri fayda yönlü olduğundan eşitlik 2 kullanılmıştır. Bu kriterde gözlemlenen minimum değer $\min x_{ij} = 4$ ile başlangıç karar matrisinde yer alan $x_{11} = 4,2$ değerinin oranlaması sonucu $n_{11} = 0,9524$ olarak elde edilmiştir. Tüm diğer değerler de benzer şekilde hesaplanmıştır. Tablo 2'de yer alan S_1 değeri ise eşitlik 4 kullanılarak

$S_1 = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{6} * (|\ln(0,9524)| + |\ln(0,6290)| + \dots + |\ln(0,5636)|) \right) \right) = 0,2960$ olarak elde edilmiştir. Diğer alternatifler için performans değerleri hesaplandıktan sonra, eşitlik 5 kullanılarak, her bir kriter silindiğinde alternatiflerin performansları (S'_{ij}) hesaplanır. Hesaplanan S'_{ij} değerleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Kriter silmenin ardından alternatif performansları (S'_{ij})

Alternatif	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0,2899	0,2368	0,2960	0,2960	0,1663	0,2222
A2	0,3937	0,3126	0,3264	0,3386	0,3376	0,3166
A3	0,1980	0,2332	0,1955	0,1707	0,2332	0,1546
A4	0,3348	0,3277	0,3382	0,2815	0,2978	0,3729
A5	0,2732	0,2350	0,2433	0,1898	0,2197	0,2639
A6	0,3401	0,3208	0,3334	0,3552	0,2269	0,2756
A7	0,3417	0,3057	0,3256	0,3035	0,2523	0,3700

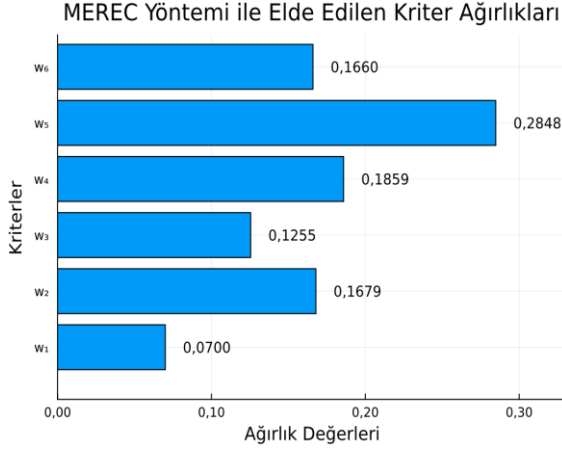
Örneğin, Tablo 3'teki değerlerden S'_{11} , K1 silindikten sonra A1 alternatifinin performans değerini ifade etmektedir ve şu şekilde hesaplanmaktadır: Tablo 2'de yer alan normalize karar matrisi değerlerinden 1. kriter değer haricindeki değerler kullanılarak $S'_{11} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{6} * (|\ln(0,6290)| + \dots + |\ln(0,5636)|) \right) \right) = 0,2899$ olarak elde edilmiştir. Sonrasında, Tablo 2'deki S_i ve Tablo 3'teki S'_{ij} değerleri ile eşitlik 6 kullanılarak kriter silmenin etkisini gösteren toplam sapma E_j değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Toplam sapma değerleri

E_1	0,1425
E_2	0,3420
E_3	0,2556
E_4	0,3786
E_5	0,5801
E_6	0,3381

Tablo 4'te yer alan değerlerden E_j , j'inci kriterin silinmesiyle ortaya çıkan toplam değişimi göstermekte olup, bu değişimin büyüklüğü kriterin önemini ifade etmektedir. Dolayısıyla, en büyük sapma değeri $E_5 = 0,5801$ olduğundan, K5 kriterinin en yüksek öneme

sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Eşitlik 7 yardımıyla bu kriterin ağırlık değeri, $w_5 = \frac{0,5801}{(0,1425+\dots+0,3381)} = 0,2848$ olarak hesaplanmıştır. Tüm kriterler için hesaplanan ağırlıklar, Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Kriter ağırlıkları.

Şekil 2’deki kriter ağırlıkları incelendiğinde, en yüksek ağırlığın Finans (K5, $w_5 = 0,2848$) kriterine ait olduğu

görülmüştür. Yatırımlar, teşvik mekanizmaları ve finansman modelleri gibi finansal unsurlar, kentlerin SKH performanslarında en kritik role sahiptir. Politika (K4, $w_4 = 0,1859$), ikinci en önemli kriter olarak belirlenmiş ve stratejik planlama, izleme ve değerlendirme gibi konuların SKH performansında yüksek düzeyde öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ulaşım talebi (K2), Çevre ve Enerji (K6) ve Yenilik (K3) kriterlerinin sırasıyla $w_2 = 0,1679$, $w_6 = 0,1660$ ve $w_3 = 0,1255$ değerlerini alması, bu kriterlerin kentlerin SKH performansları üzerinde orta düzeyde etkiye sahip olduklarını ve daha çok tamamlayıcı faktörler olarak katkı sunduklarını göstermektedir. Son olarak, Ulaşım arzı (K1, $w_1 = 0,0700$) en düşük öneme sahip kriter olarak tespit edilmiştir.

MEREC yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, alternatifler RAWEC yöntemiyle sıralanmıştır. Sıralamaların elde edilmesi için, öncelikle Tablo 1’de verilen başlangıç karar matrisi eşitlik 8 veya eşitlik 9 kullanılarak çift normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen normalize karar matrisleri Tablo 5’te sunulmuştur.

Tablo 5. Normalize karar matrisleri

	N						N'					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0,7119	0,7949	0,5606	0,4390	0,9014	0,8730	0,9524	0,6290	1,0000	1,0000	0,3750	0,5636
A2	0,6780	1,0000	1,0000	0,7073	0,5493	0,9524	1,0000	0,5000	0,5606	0,6207	0,6154	0,5167
A3	0,8814	0,5000	0,7424	0,6951	0,3380	0,8730	0,7692	1,0000	0,7551	0,6316	1,0000	0,5636
A4	1,0000	0,7821	0,8030	1,0000	0,6761	0,5238	0,6780	0,6393	0,6981	0,4390	0,5000	0,9394
A5	0,7119	0,7051	0,7424	0,8659	0,5352	0,5556	0,9524	0,7091	0,7551	0,5070	0,6316	0,8857
A6	0,8136	0,7051	0,7121	0,4634	1,0000	1,0000	0,8333	0,7091	0,7872	0,9474	0,3380	0,4921
A7	0,8644	0,8590	0,8182	0,7683	0,8873	0,4921	0,7843	0,5821	0,6852	0,5714	0,3810	1,0000

Tablo 5’te yer alan değerlerden n_{11} şu şekilde hesaplanmıştır: K1 kriteri fayda yönlü olduğundan eşitlik 8 kullanılarak, Tablo 1’de yer alan $x_{11} = 4,2$ değeri, bu sütundaki en büyük değer olan $\max x_{ij} = 5,9$ ’a bölünerek $n_{11} = 0,7119$ olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, n'_{11} ise eşitlik 8 kullanılarak bu kriterde gözlemlenen minimum değer $\min x_{ij} = 4$ ile $x_{11} = 4,2$ değerinin oranlaması sonucu $n'_{11} = 0,9524$ olarak elde edilmiştir. Diğer tüm değerler de benzer şekilde hesaplanmıştır. Şekil 2’deki kriter ağırlıkları ve Tablo 5’te yer alan normalize edilmiş karar matrisleri ile eşitlik 10 ve eşitlik 11 kullanılarak kriter ağırlıklarından sapmalar hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 6’da sunulmuştur. Tablo 6’daki sapma değerleri, eşitlik 10 ve 11 yardımıyla hesaplanmıştır. Örneğin A1 alternatifi için, için $v_1 = \sum w_j(1 - n_{1j})$ formülü kullanılarak $v_1 = 0,0700(1 - 0,7119) + 0,1679(1 - 0,7959) + \dots + 0,1660(1 - 0,8730) = 0,2632$ sonucu elde edilmiştir. Benzer şekilde, $v'_1 = \sum w_j(1 - n'_{1j})$ formülü kullanıldığında $v'_1 = 0,0700(1 - 0,9524) + 0,1679(1 - 0,6290) + \dots + 0,1660(1 - 0,5636) = 0,3161$ bulunmuştur. Diğer alternatifler için de hesaplamalar aynı yöntemle yapılmıştır. Tablo 6’daki değerler ve eşitlik

12 kullanılarak elde edilen nihai skorlar (Q_i) ile buna bağlı olarak elde edilen alternatif sıralamaları Tablo 7’de sunulmuştur.

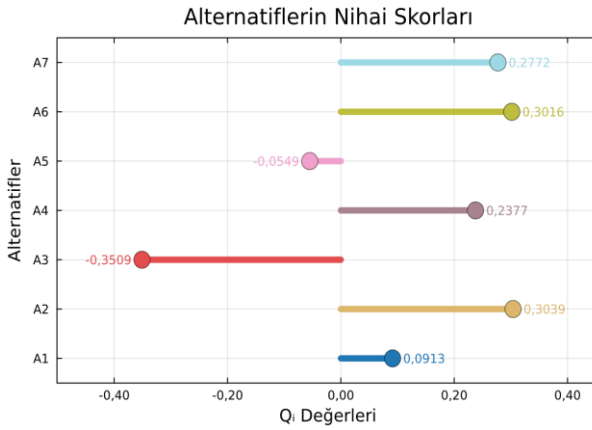
Tablo 7’de yer alan nihai skorlar incelendiğinde, alternatifler arasında belirgin farklılıkların bulunduğu görülmektedir. Buenos Aires (A2, $Q_2 = 0,3039$) birinci sırada yer alırken, onu São Paulo (A6, $Q_6 = 0,3016$) ve Yeni Delhi (A7, $Q_7 = 0,2772$) izlemektedir. Bu durum, A2’nin SKH ile ilgili kriterlerde en yüksek performansı sergilediğini, A6 ve A7’nin ise buna yakın skorlarla üst sıralarda yer aldığını ortaya koymaktadır. İstanbul (A4, $Q_4 = 0,2377$) bazı kriterlerde yüksek performans göstermesine rağmen dördüncü sırada yer almıştır. Bogota (A1, $Q_1 = 0,0913$) ise beşinci sırayı almış, pozitif fakat düşük bir performans ortaya koymuştur. Riyad (A5, $Q_5 = -0,0549$) ve Cape Town (A3, $Q_3 = -0,3509$) negatif skorlarla en zayıf performans gösteren kentler olarak belirlenmiştir. Bu yorumlara ek olarak, kentlere ait nihai skorlar Şekil 3’te sunulmuş ve alternatiflerin göreceli performansları ortaya konmuştur.

Tablo 6. Kriter ağırlığından sapma değerleri

Alternatif	v_i	v'_i
A1	0,2632	0,3161
A2	0,2132	0,3994
A3	0,3909	0,1878
A4	0,2326	0,3777
A5	0,3331	0,2985
A6	0,1984	0,3698
A7	0,2155	0,3808

Tablo 7. Alternatiflerin sıralamaları

Alternatif	Q_i	Sıra
A1	0,0913	5
A2	0,3039	1
A3	-0,3509	7
A4	0,2377	4
A5	-0,0549	6
A6	0,3016	2
A7	0,2772	3



Şekil 3. Alternatiflerin performansları.

3.1. Duyarlılık Analizi

ÇKKV yöntemleri kullanılarak elde edilen sıralama sonuçları, belirlenen kriter ağırlıklarından doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle, sıralama sonuçlarının ağırlık değişimlerine karşı ne ölçüde duyarlı olduğu, duyarlılık analizi ile test edilmektedir. Bu çalışmada da geliştirilen senaryolar kapsamında benzer şekilde duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, MEREC-RAWEC yaklaşımıyla elde edilen sonuçların, kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı kararlılığının test edilmesi hedeflenmiştir. Duyarlılık analizi için geliştirilen senaryolar, Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8'de yer alan senaryolara ilişkin bilgiler aşağıdaki gibidir:

- S1, MEREC yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıklarını içermektedir. Diğer senaryolar bu ağırlıklar esas alınarak türetilmiştir.
- S2, en yüksek kriter ağırlığı olan w_5 'in %20 artırıldığı ve diğer ağırlıkların eşitlik 13 ve

eşitlik 14 yardımıyla yeniden hesaplandığı senaryodur.

- S3, en düşük kriter ağırlığı olan w_1 'in %80 artırıldığı, diğer ağırlıkların eşitlik 13 ve eşitlik 14 yardımıyla yeniden hesaplandığı senaryodur.
- S4, tüm kriterlerin eşit öneme sahip olduğu senaryodur. Ağırlık değerleri $w_j = 1/6 = 0,1667$ olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yeni Kriter Değeri} = \text{Eski Kriter Değeri} * \text{Değişim Oranı}, \quad (13)$$

$$\text{Değişim Oranı} = \frac{1 - \text{Değiştirilen Kriterin S1'deki Değeri}}{1 - \text{Değiştirilen Kriterin Yeni Değeri}} \quad (14)$$

Tablo 8'de yer alan her bir senaryodaki kriter ağırlıkları kullanılarak elde edilen sıralama sonuçları Şekil 4'te sunulmuştur.

Şekil 4'te yer alan sıralamalar incelendiğinde, A1, A3 ve A5 alternatiflerinin senaryolar arasında sıralama değişikliği göstermediği görülmektedir. A2 alternatifi, Senaryo 2 ve Senaryo 3'te üçüncü ve dördüncü sıralara gerilemiştir. Bu durum, temel senaryoda en yüksek SKH performansı gösteren A2'nin, kriter ağırlıklarındaki değişimlere duyarlı olduğuna işaret etmektedir. Buna karşılık, A6 alternatifi Senaryo2 ve Senaryo 3'te birinci sıraya yükselmiş, Senaryo 4'te ise dördüncü sıraya gerilemiştir. Bu durum, A6'nın belirli kriter gruplarının önem kazanması hâlinde avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. A4 ve A7 ise görece olarak daha az sıralama değişikliği göstermiş ve üst sıralarda istikrarlı bir görünüm sergilemiştir. Elde edilen sonuçlar, MEREC-RAWEC yaklaşımının genel olarak kararlı sonuçlar ürettiğini, sıralama değişimlerinin ise üst sıralardaki bazı alternatiflerle sınırlı kaldığını göstermektedir. Dolayısıyla, karar vericilerin bu alternatiflerin kriter ağırlıklarına duyarlılıklarını göz önünde bulundurmaları gerekmektedir.

3.2. Karşılaştırmalı Analiz

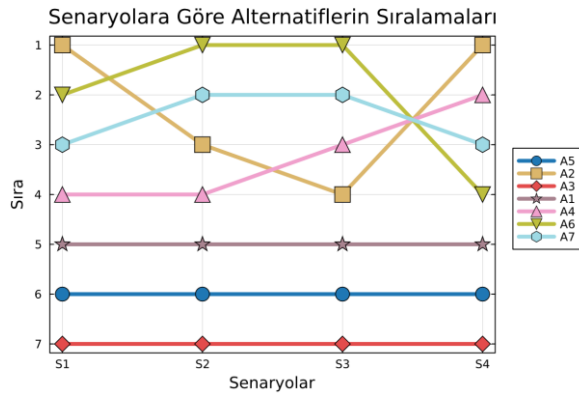
Çalışmada kullanılan MEREC-RAWEC yönteminin ürettiği sonuçların güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla farklı yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison), EDAS, CODAS (Combinative Distance-Based Assessment) ve MAIRCA yöntemleriyle karşılaştırma yapılmıştır. MABAC yöntemi, alternatifleri sınır alanına olan uzaklıklarına göre değerlendirmektedir (Pamuçar ve Ćirović, 2015). EDAS yöntemi, ortalama çözümde pozitif ve negatif sapmalar dikkate alınarak alternatiflerin sıralanmasını sağlamaktadır (Keshavarz Ghorabae vd., 2015). CODAS yöntemi, negatif ideal çözümde geometrik uzaklığı esas almaktadır (Keshavarz Ghorabae vd., 2016). MAIRCA yöntemi ise alternatiflerin beklenen ile gerçek değerleri arasındaki farkları en aza indirmeye odaklanmaktadır (Pamuçar vd., 2014). Böylece, RAWEC yönteminin sonuçları farklı yaklaşımlara sahip yöntemlerde karşılaştırılmış ve

sıralama sonuçlarının tutarlılığı ortaya konmuştur. ÇKKV yöntemleri, sıralama yaparken farklı ölçekteki skorları dikkate almakta ve bu skorlara dayalı olarak pozisyonlar bazen büyükten küçüğe, bazen de küçükten büyüğe olacak şekilde belirlenmektedir. Bu nedenle, yöntemlerden elde edilen skorlar, her zaman doğrudan karşılaştırılabilir değildir. Literatürde farklı ÇKKV yöntemlerinden elde edilen sıralamaların tutarlılığını karşılaştırmak için doğrusal ilişki yerine sıralama ilişkisini esas alan Spearman sıralama korelasyon

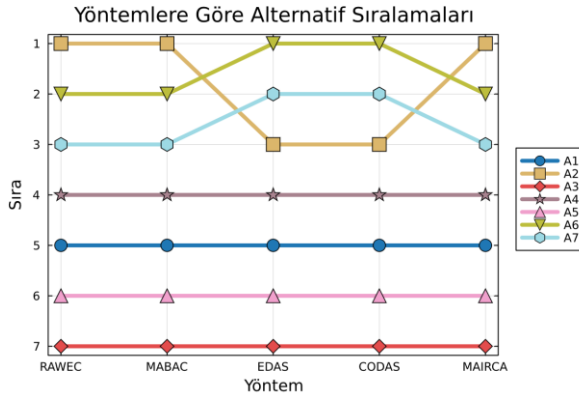
katsayısı yaygın şekilde kullanılmaktadır (Yurdakul ve İç, 2009; Keshavarz Ghorabae vd., 2015; Ceballos vd., 2016; Moradi vd., 2017; Chatterjee ve Kar, 2018; Radović vd., 2018; Su vd., 2025). Bu katsayı, sıralama sonuçları arasındaki monoton ilişkiyi ölçtüğü için farklı yöntemlerin sonuçlarını karşılaştırmada istatistiksel olarak uygun bir ölçüt sağlamaktadır. Bu çalışmada da benzer yaklaşımla sıralamaların tutarlılığı Spearman sıralama korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı analiz sonuçları Şekil 5'te sunulmuştur.

Tablo 8. Duyarlılık analizi senaryoları

Senaryo	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6
S1	0,0700	0,1679	0,1255	0,1859	0,2848	0,1660
S2	0,0644	0,1545	0,1155	0,1711	0,3418	0,1528
S3	0,1260	0,1578	0,1179	0,1747	0,2676	0,1560
S4	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667



Şekil 4. Duyarlılık analizi sonuçları.



Şekil 5. Karşılaştırmalı analiz sonuçları.

Şekil 5 incelendiğinde, A1, A3, A4 ve A5'in sıralamalarının tüm yöntemlerde aynı kaldığı görülmektedir. Bu durum, MEREC-RAWEC sonuçlarının güvenilirliğini artırmaktadır. Sıralaması değişen alternatifler incelendiğinde, A2'nin RAWEC, MABAC ve MAIRCA yöntemlerinde; A6'nın ise EDAS ve CODAS yöntemlerinde birincilik için rekabet halinde olduğunu göstermektedir. Bu farklılığın, yöntemlerin esas aldıkları referans noktalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. A7'nin ise tüm yöntemlerde istikrarlı şekilde ilk üçte yer aldığı görülmektedir. Sıralama değişimlerinin yalnızca üst

sıralarda yer alan alternatiflerde görülmesi, MEREC-RAWEC yönteminin diğer yöntemlerle büyük ölçüde uyumlu sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle ilk üç alternatifteki sınırlı değişim ve diğer alternatiflerde sıralama farklılığı bulunmaması, yöntemin tutarlı ve güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Tablo 9'da verilen korelasyon değerlerine de yansımıştır.

Tablo 9. Korelasyon değerleri

	RAWEC	MABAC	EDAS	CODAS	MAIRCA
RAWEC	1,0000	1,0000	0,8929	0,8929	1,0000

Tablo 9 incelendiğinde, MEREC-RAWEC yönteminin MABAC ve MAIRCA yöntemleriyle tam uyum gösterdiği; A2 ve A6'nın pozisyon değişimleri nedeniyle ise diğer yöntemlerle yüksek düzeyde korelasyon sergilediği görülmektedir. Bu durum, MEREC-RAWEC metodolojisinin farklı yaklaşımlara sahip yöntemlerle yüksek uyum göstererek tutarlı ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, kentlerin SKH performanslarını değerlendirmek amacıyla MEREC-RAWEC yaklaşımı önerilmiş ve PwC ve MaasLab (2024) tarafından yayımlanan SMRI verileri kullanılarak uygulama gerçekleştirilmiştir. SKH performansındaki kriterlerin önem düzeylerini belirlemek amacıyla MEREC yöntemi kullanılmıştır. MEREC yöntemi, kriter ağırlıklarını objektif biçimde belirlerken kriterleri sırasıyla analizden çıkarır ve ortaya çıkan değişimlerin etkisini ölçerek her bir kriterin önem düzeyini tayin eder. Hesaplamalar sonucunda en önemli kriter, $w_5 = 0,2848$ değeriyle Finans (K5), en düşük öneme sahip kriter ise $w_1 = 0,07$ değeriyle Ulaşım arzı (K1) olarak belirlenmiştir. Kriterlerin önem düzeylerine göre sıralaması şu şekilde elde edilmiştir: Finans (K5) > Politikalar (K4) > Ulaşım

talebi (K2) > Çevre ve enerji (K6) > Yenilik (K3) > Ulaşım arzı (K1). Bu durum, yatırımlar, teşvik mekanizmaları ve finansman modelleri gibi finansal unsurların kentlerin SKH performansını artırmada itici güç olduğuna işaret etmektedir. Buna karşılık, ulaşım arzının SKH performansını artırmak için tek başına yeterli olmadığı; bu kriterin talep yönetimi, çevre ve enerji ve yenilik faktörleriyle desteklenmesi gerektiği görülmektedir. Elde edilen kriter ağırlıkları, RAWEC yönteminde kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. RAWEC yöntemi düşük hesaplama karmaşıklığıyla alternatiflerin sıralanmasını mümkün kılmaktadır. Hesaplamalar sonucunda Buenos Aires (A2), en yüksek SKH performansına sahip kent; Cape Town (A3) ise en düşük performansa sahip kent olarak tespit edilmiştir. SKH performanslarına göre kentlerin nihai sıralaması ise şu şekilde belirlenmiştir: Buenos Aires (A2) > São Paulo (A6) > Yeni Delhi (A7) > İstanbul (A4) > Bogota (A1) > Riyad (A5) > Cape Town (A3).

Elde edilen sıralamaların kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı hassasiyetini ölçmek için ayrıca duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizinde dört farklı senaryo geliştirilmiş ve RAWEC yönteminin sonuçları incelenmiştir. Analizler sonucunda MEREC-RAWEC yönteminin genel olarak kararlı sonuçlar ürettiği; sıralama değişimlerinin yalnızca üst sıralardaki bazı alternatiflerin kriter ağırlıklarındaki değişime duyarlılık göstermesi nedeniyle oldukça sınırlı kaldığı belirlenmiştir. MEREC-RAWEC yönteminin ürettiği sonuçların güvenilirliğini test etmek amacıyla literatürde yaygın şekilde kullanılan ÇKKV yöntemlerinden MABAC, EDAS, CODAS ve MAIRCA ile karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları, MEREC-RAWEC yönteminin MABAC ve MAIRCA ile aynı sonuçları vererek tam uyumlu olduğunu, EDAS ve CODAS ile ise çok yüksek ($\rho = 0,8929$) düzeyde korelasyon gösterdiğini ortaya koymuştur. Farklı yaklaşımlara (sınır alanına uzaklık, ortalama çözümden sapma, negatif ideal çözümden uzaklık, beklenen ile gerçek değerler arasındaki farkın minimizasyonu) dayalı yöntemlerle elde edilen yüksek korelasyon değerleri, MEREC-RAWEC yönteminin bu yaklaşımlara da karşı tutarlı ve güvenilir sonuçlar üretebildiğini göstermektedir. Duyarlılık ve karşılaştırmalı analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, MEREC- RAWEC yönteminin karar vericiler için güçlü ve esnek bir araç olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Yapılan analizler, Finans (K5) kriterinin SKH performansı açısından en önemli faktör olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, Finans ile ilgili faktörler, kentlerin SKH performanslarını artırabilmeleri için odaklanmaları gereken öncelikli konudur. Bu bağlamda, sürdürülebilir finansman araçları, kentlerin SKH projeleri için uygun kaynaklar bularak performanslarını artırmalarına katkı sağlayabilir. SKH hedeflerine ulaşabilmek için teşviklerin artırılması ve kamu-özel sektör iş birliklerinin geliştirilmesi, kentlerin SKH performansını olumlu yönde etkileyecektir. Analizler, bazı kentlerin sürekli olarak

düşük performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu kentlerin, yalnızca altyapı yatırımlarıyla ulaşım imkânlarını artırmak yerine mevcut toplu taşıma araçlarını kullanmayı teşvik ederek özel araç kullanımını azaltacak şekilde ulaşım talebini yönetmeli ve çevresel sürdürülebilirliği artıracak önlemler almalıdır. Bu kentler, günü kurtaracak kararlar yerine uzun vadeli, tüm paydaşların katılımını içeren bütüncül politikalar benimsemelidir. Bu politikaların etkin biçimde uygulanabilmesi için kentlerde koordinasyonun sağlanması; şehir planlaması, enerji politikaları ve çevresel etkilerin bütüncül biçimde dikkate alınması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar artırılarak, daha verimli ve düşük karbonlu ulaşım sistemlerine öncelik verilmelidir. Ayrıca, yol güvenliğinin iyileştirilmesi ve motorsuz aktif ulaşım araçlarının yaygınlaştırılmasıyla trafik sıkışıklığı, karbon emisyonu, enerji kullanımı ve toplum sağlığı gibi alanlarda iyileştirmeler sağlanmalıdır. Üst sıralarda yer alan kentler ise performanslarını koruyabilmek için çevresel sürdürülebilirliği destekleyecek altyapı yatırımlarına devam etmeli ve yenilikçi uygulamalarla kullanıcı deneyimini ve verimliliği artırmalıdır. Kentlerin SKH performanslarını istikrarlı biçimde sürdürebilmeleri için tek bir faktöre odaklanmak yerine bütüncül ve çok boyutlu bir yaklaşımı benimsemeleri gerekmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, literatürdeki bulgularla karşılaştırıldığında kimi çalışmalarla benzerlik, kimi çalışmalarla ise farklılık göstermektedir. Örneğin, Morfoulaki ve Papathanasiou (2021), PROMETHEE yöntemini kullanarak Yunanistan'da SKHP kapsamında politikaları ve önlemleri önceliklendirmiş ve politikaların rolünün önemini vurgulamıştır. Bu bulgu, Politikalar (K4) kriterinin bu çalışmada en önemli ikinci kriter olarak belirlenmesiyle uyumludur. Senne vd. (2021), São Paulo'da yolcu ve yük taşımacılığını bütünleşik biçimde ele alarak AHP temelli bir endeks geliştirmiş ve toplu taşıma ile aktif ulaştırma modlarının teşvikinin önemini ortaya koymuştur. Bu durum, analizlerde São Paulo'nun (A2) üst sıralarda olması ve talep yönetimiyle ilgili olan Ulaşım talebi (K2) kriterinin üçüncü sırada bulunması ile uyumludur. Hajduk (2022), Entropi ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak ISO 37120'ye dayalı 44 akıllı kenti ulaşım performanslarına göre değerlendirmiş ve trafik kazalarında ölüm sayısını en önemli kriter olarak belirlemiştir. Bu kriter, yol güvenliği ile ilgili olup bu çalışmadaki Ulaşım talebi (K2) kriterinin bileşenlerinden biridir ve üçüncü en önemli kriter olmasıyla uyumludur. Kundu vd. (2023), sürdürülebilir şehirler için toplu taşıma sistemlerini analiz ettikleri çalışmalarında yatırım maliyetlerini en önemli kriter olarak belirlemiştir. Bu bulgu, bu çalışmada Finans (K5) kriterinin en önemli kriter olmasıyla doğrudan uyumludur. Aquilué Junyent vd. (2024), Barselona'da yaptıkları analizde hareketlilik kriterini; Moslem (2024) ise Dublin'de yaptığı çalışmada toplu taşıma kalitesini öne çıkarmıştır. Bu çalışmada, söz konusu faktörlerin Ulaşım arzı (K1) ve Ulaşım talebi (K2) kriterleriyle ilişkili olduğu, ancak bu kriterlerin görece

düşük ağırlığa sahip olmasının veri kümesi veya coğrafi konum farklılıklarından kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma, kentlerin SKH performanslarını değerlendirmek amacıyla MEREC-RAWEC yöntemini önermiştir. Önerilen yöntem, politik etkilerin yoğun olduğu SKH gibi bir alanda özneliliği ortadan kaldırarak kriterlerin SKH performansı üzerindeki önem düzeylerini objektif biçimde belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Ayrıca, MEREC yöntemiyle elde edilen ağırlık değerlerinin RAWEC yöntemiyle birlikte kullanılması, SKH alanında karar vericiler için pratik bir araç sunmaktadır. Önerilen MEREC-RAWEC yaklaşımının tutarlılığı ve güvenilirliği, duyarlılık ve karşılaştırmalı analizlerle doğrulandığından kent hareketliliği alanında çalışan araştırmacılar için mevcut ÇKKV yöntemlerine alternatif olarak kullanılabilecek bir araç ortaya konmuş ve böylece literatüre katkı sağlanmıştır.

Bu çalışmada, PwC ve MaasLab (2024) tarafından yayımlanan 2024 yılına ait SMRI verileri kullanılarak seçilen kentlerin SKH performansları değerlendirilmiştir. Bu nedenle, çalışmada yapılan analizler yalnızca bir yıllık bir dönemle ve SMRI'da yer alan göstergelerle sınırlıdır. Dolayısıyla, SKH ile ilgili olabilecek ancak analize dâhil edilmeyen kriterler bulunabilir. Ayrıca, çalışmada gerçekleştirilen analizler kapsadığı kentler itibarıyla uluslararası bir boyuta sahip olsa da yalnızca sınırlı bir bölgeyi temsil etmektedir. Bu sınırlılıkları aşmak için, gelecekteki çalışmalarda farklı dönemlere ilişkin veriler analize dâhil edilerek dönemler arası karşılaştırmalar yapılabilir. SKH ile ilgili ISO 37120 gibi farklı göstergeler analize dâhil edilerek bu göstergelerin sıralama sonuçlarına etkisi incelenebilir. Benzer şekilde, daha fazla kent analize eklenerek daha geniş coğrafyalara ilişkin bulgular elde edilebilir. Ayrıca, belirsizlik içeren verilerin söz konusu olması durumunda, ÇKKV yöntemlerinin bulanık mantık uzantılarına sahip yaklaşımları da kullanılabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma MEREC-RAWEC yöntemlerini birlikte kullanan ilk uygulama olmamakla birlikte, kentlerin SKH performansını değerlendirmek amacıyla bu yöntemlerin birlikte kullanımına odaklanan ilk çalışmadır. Bu yönüyle çalışma, literatüre hem yönetsel hem de uygulama açısından önemli bir katkı sağlamıştır. Önerilen yaklaşımda MEREC yöntemi, kriter ağırlıklarını objektif biçimde belirlemeyi sağlarken, RAWEC yöntemi ise düşük hesaplama karmaşıklığı sayesinde kentlerin kolayca sıralanabilmesine olanak sağlamaktadır. Analizler, Finans ve Politika kriterlerinin kentlerin performansını en çok etkileyen iki unsur olduğunu ortaya koyarken, duyarlılık ve karşılaştırmalı analizler, elde edilen sonuçların istikrarlı ve güvenilir olduğunu doğrulamıştır. Böylece, sürdürülebilir kent hareketliliği alanında çalışan araştırmacı ve uygulayıcılara güçlü bir karar destek aracı sunulmuştur.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	T.Ö.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Abdelaal, R. M. S., Makki, A. A., Al-Madi, E. M., & Qhadi, A. M. (2024). Prioritizing strategic objectives and projects in higher education institutions: A new hybrid fuzzy MEREC-G-TOPSIS approach. *IEEE Access*, 12, 89735–89753. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3419701>
- Ağaoğlu, M. N., Korkmaz, F., & Alakara, E. H. (2021). Sürdürülebilir ulaşım ve bisiklet yollarının planlanması: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesi örneği. *Gaziosmanpaşa Bilim Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 140–155.
- Akbulut, O. Y., & Aydın, Y. (2024). A hybrid multidimensional performance measurement model using the MSD-MPSI-RAWEC model for Turkish banks. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(3), 1157–1183. <https://doi.org/10.30798/makuiibf.1464469>
- Akpınar, M. E. (2025). Evaluating resilience and sustainability in global supply chains: Multi-criteria decision-making approach for post-pandemic challenges. *Logforum*, 21(1), 63–72. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.001141>
- Akram, M., Zahid, S., & Al-Kenani, A. N. (2024). Multi-criteria group decision-making for evaluating efficient and smart mobility sharing systems using Pythagorean fuzzy rough numbers. *Granular Computing*, 9(2), 50. <https://doi.org/10.1007/s41066-024-00466-6>
- Andrade, N. A., & Sawicka, H. (2025). Methodology for park-and-ride facility location using the catchment area method and a multiple criteria decision-aiding approach. *Logforum*, 21(2), 197–209. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.001185>
- Aquilué Junyent, I., Martí Casanovas, M., Roukouni, A., Moreno Sanz, J., Roca Blanch, E., & Correia, G. H. A. (2024). Planning shared mobility hubs in European cities: A methodological framework using MCDA and GIS applied to Barcelona.

- Sustainable Cities and Society*, 106, 105377. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105377>
- Aydin, N., Seker, S., & Özkan, B. (2022). Planning location of mobility hub for sustainable urban mobility. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103843. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103843>
- Baba Slimane, N. E. H., & Baouni, T. (2021). Interaction between the transport network and the territory of Algiers (complex system): In search of indicators. *Journal of Applied Engineering Science*, 11(2), 77–92. <https://doi.org/10.2478/jaes-2021-0011>
- Bebber, S., Libardi, B., De Atayde Moschen, S., Correa da Silva, M. B., Cristina Fachinelli, A., & Nogueira, M. L. (2021). Sustainable mobility scale: A contribution for sustainability assessment systems in urban mobility. *Clean Engineering and Technology*, 5, 100271. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100271>
- Brand, C., Götschi, T., Dons, E., Gerike, R., Anaya-Boig, E., Avila-Palencia, I., ... Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). The climate change mitigation impacts of active travel: Evidence from a longitudinal panel study in seven European cities. *Global Environmental Change*, 67, 102224. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102224>
- Ceballos, B., Lamata, M. T., & Pelta, D. A. (2016). A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods. *Progress in Artificial Intelligence*, 5, 315–322.
- Chatterjee, K., & Kar, S. (2018). Supplier selection in telecom supply chain management: A fuzzy-Rasch based COPRAS-G method. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(2), 765–791. <https://doi.org/10.3846/20294913.2017.1295289>
- Commission of the European Communities. (2009). *Action plan on urban mobility (COM(2009) 490 final)*. Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0490:FIN:EN:PDF> (Accessed June 18, 2025)
- Çelebi Demirarslan, P., Sönmez Çakır, F., & Akansel, I. (2024). Ranking the quality of life indexes by years in Asian countries using multi-criteria decision-making methods. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 8(3), 911–942. <https://doi.org/10.1007/s41685-024-00350-w>
- da Silva, A. N. R., Tan, F. M., & de Sousa, P. B. (2024). Key sustainable mobility indicators for university campuses. *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100371>
- Damidavičius, J., Burinskienė, M., & Antuchevičienė, J. (2020). Assessing sustainable mobility measures applying multicriteria decision-making methods. *Sustainability*, 12(15), 6067. <https://doi.org/10.3390/su12156067>
- Demir, G., & Chatterjee, P. (2025). A fuzzy multi-criteria decision-making approach to personalised treatment in neuroscience. *Brain: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 16(2), 311. <https://doi.org/10.70594/brain/16.2/23>
- Distefano, N., & Leonardi, S. (2023). Fostering urban walking: Strategies focused on pedestrian satisfaction. *Sustainability*, 15(24), 16649. <https://doi.org/10.3390/su152416649>
- Durmuş, Z. (2025). Assessment of renewable energy performance in Turkey using a novel integrated MSD-CRITIC-RAWEC model. *Journal of Operational and Strategic Analytics*, 3(1), 49–64. <https://doi.org/10.56578/josa030105>
- Dündar, S. (2025). Performance evaluation of IPARD-II rural development programs with integrated DIBR-RAWEC methods. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 31(3), 339–350. <https://doi.org/10.5505/pajes.2024.43996>
- Dündar, S., & Karadağ, İ. (2025). Selection of a facility location for a cosmetics company by integrated F-LBWA and I-RAWEC methods. *International Journal of Fuzzy Systems*, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s40815-024-01960-4>
- Ertuğrul, M., & Özdarak, E. (2025). Measuring airline performance: An integrated balanced scorecard-based MEREC-CoCoSo model. *Sustainability*, 17(13), 5826. <https://doi.org/10.3390/su17135826>
- Esangbedo, M. O., & Tang, M. (2023). Evaluation of enterprise decarbonization scheme based on grey-MEREC-MAIRCA hybrid MCDM method. *Systems*, 11(8), 397. <https://doi.org/10.3390/systems11080397>
- European Commission. (2013). *Together towards competitive and resource-efficient urban mobility (COM(2013) 913 final)*. Brussels. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:82155e82-67ca-11e3-a7e4-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_3&format=PDF (Accessed June 18, 2025)
- European Commission. (2019). *The European Green Deal (COM(2019) 640 final)*. Brussels. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF (Accessed June 26, 2025)
- Galanakis, K., Heinz, H., & Marggraf, C. (2024). Place-based sustainable urban mobility: A conceptual framework to spark local designs. *Regional Studies*, 58(12), 2419–2434. <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2406290>
- Gamal, A., Abdel-Basset, M., Hezam, I. M., Sallam, K. M., & Hameed, I. A. (2023). An interactive multi-criteria decision-making approach for autonomous vehicles and distributed resources based on logistic systems: Challenges for a sustainable future. *Sustainability*, 15(17), 12844. <https://doi.org/10.3390/su151712844>
- Garau, C., Masala, F., & Pinna, F. (2016). Cagliari and smart urban mobility: Analysis and comparison. *Cities*, 56, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.02.012>
- Hajduk, S. (2022). Multi-criteria analysis in the decision-making approach for the linear ordering of urban transport based on TOPSIS technique. *Energies*, 15(1), 274. <https://doi.org/10.3390/en15010274>
- Herrera-Acevedo, D. D., & Sierra-Porta, D. (2025). Network structure and urban mobility sustainability: A topological analysis of cities from the urban mobility readiness index. *Sustainable Cities and Society*, 119, 106076. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106076>
- Jain, D., & Tiwari, G. (2017). Sustainable mobility indicators for Indian cities: Selection methodology and application. *Ecological Indicators*, 79, 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.059>
- Jasti, P. C., & Vinayaka Ram, V. (2019). Integrated and sustainable benchmarking of metro rail system using analytic hierarchy process and fuzzy logic: A case study of Mumbai. *Urban Rail Transit*, 5(3), 155–171. <https://doi.org/10.1007/s40864-019-00107-1>
- Katranci, A., Kundakci, N., & Arman, K. (2026). Fuzzy SIWEC and fuzzy RAWEC methods for sustainable waste disposal technology selection. *Spectrum of Operations Research*, 3(1), 87–102. <https://doi.org/10.31181/sor31202633>
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435–451. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.57>
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-

- making. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 50(3), 25–44.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2021). Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREK). *Symmetry*, 13(4), 525. <https://doi.org/10.3390/sym13040525>
- Korkmazıyrek, B., & Polat, E. (2019). Kentsel ulaşımda esnek, akıllı ve yeni bir planlama yaklaşımı: Sürdürülebilir kentsel hareketlilik planları. *Kent Akademisi*, 12(2), 225–240. <https://doi.org/10.35674/kent.537224>
- Kramar, U., Dragan, D., & Topolšek, D. (2019). The holistic approach to urban mobility planning with a modified focus group, SWOT, and fuzzy analytical hierarchical process. *Sustainability*, 11(23), 6599. <https://doi.org/10.3390/su11236599>
- Kundu, P., Görçün, Ö. F., Garg, C. P., Küçükönder, H., & Çanakçıoğlu, M. (2023). Evaluation of public transportation systems for sustainable cities using an integrated fuzzy multi-criteria group decision-making model. *Environment, Development and Sustainability*, 26(11), 27655–27684. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03776-y>
- Melkonyan, A., Gruchmann, T., Lohmar, F., & Bleischwitz, R. (2022). Decision support for sustainable urban mobility: A case study of the Rhine-Ruhr area. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103806. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103806>
- Moradi, M., Delavar, M. R., & Moshiri, B. (2017). A GIS-based multi-criteria analysis model for earthquake vulnerability assessment using Choquet integral and game theory. *Natural Hazards*, 87, 1377–1398. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2822-6>
- Morfoulaki, M., & Papathanasiou, J. (2021). Use of PROMETHEE MCDA method for ranking alternative measures of sustainable urban mobility planning. *Mathematics*, 9(6), 602. <https://doi.org/10.3390/math9060602>
- Moslem, S. (2024). A novel parsimonious spherical fuzzy analytic hierarchy process for sustainable urban transport solutions. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 128, 107447. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107447>
- Mutavdžija, M., Kovačić, M., & Buntak, K. (2024). Moving towards sustainable mobility: A comparative analysis of smart urban mobility in Croatian cities. *Sustainability*, 16(5), 2004. <https://doi.org/10.3390/su16052004>
- Narayanamoorthy, S., Parthasarathy, T. N., Pragathi, S., Shanmugam, P., Baleanu, D., Ahmadian, A., & Kang, D. (2022). The novel augmented Fermatean MCDM perspectives for identifying the optimal renewable energy power plant location. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102488. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102488>
- Olteanu (Burcă), A. L., Ionașcu, A. E., Cosma, S., Barbu, C. A., Popa, A., Cioroiu, C. G., & Goswami, S. S. (2024). Prioritizing the European investment sectors using a fuzzy-MEREK-AROMAN decision-making model. *Sustainability*, 16(17), 7790. <https://doi.org/10.3390/su16177790>
- Ozdemir, S., Demirel, N., Zaralı, F., & Çelik, T. (2024). Multi-criteria assessment framework for evaluation of Green Deal performance. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(3), 4686–4704. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31370-2>
- Önder, H. G., & Akdemir, F. (2022). Sürdürülebilir ulaşım altyapısının pandemi döneminde yeniden kurgulanması: Mikromobilite trendleri ve Türkiye. *İdealkent*, 13(36), 748–770. <https://doi.org/10.31198/idealkent.1039996>
- Özekenci, E. K. (2025). A multi-criteria framework for economic decision support in urban sustainability: Comparative insights from European cities. *International Journal of Economic Sciences*, 14(1), 162–181. <https://doi.org/10.31181/ijes1412025188>
- Pamuçar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016–3028. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>
- Pamuçar, D., Vasin, L., & Lukovac, V. (2014). Selection of railway level crossings for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MARIC model. In *XVI International Scientific-expert Conference on Railways* (pp. 89–92). Niš, Serbia. <https://doi.org/10.13140/2.1.2707.6807>
- Pelit, İ., & Aşar, İ. İ. (2025). Türkiye’s carbon emission profile: A global analysis with the MEREK-PROMETHEE hybrid method. *Sustainability*, 17(14), 6527. <https://doi.org/10.3390/su17146527>
- Puška, A., Nedeljković, M., Dudić, B., Štilić, A., & Mittelman, A. (2024). Improving agricultural sustainability in Bosnia and Herzegovina through renewable energy integration. *Economies*, 12(8), 195. <https://doi.org/10.3390/ECONOMIES12080195>
- Puška, A., Štilić, A., Pamučar, D., Božanić, D., & Nedeljković, M. (2024). Introducing a novel multi-criteria ranking of alternatives with weights of criterion (RAWEC) model. *MethodsX*, 12, 102628. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102628>
- PwC, & MaasLab. (2024). *The sustainable mobility readiness index*. <https://www.pwc.com/m1/en/publications/sustainable-mobility-readiness-index.html> (Accessed May 30, 2025)
- PwC. (2024). *Sustainable mobility readiness index*. <https://www.pwc.com/m1/en/publications/sustainable-mobility-readiness-index.html> (Accessed September 8, 2025)
- Radović, D., Stević, Ž., Pamučar, D., Zavadskas, E. K., Badi, I., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. (2018). Measuring performance in transportation companies in developing countries: A novel rough ARAS model. *Symmetry*, 10(10), 434. <https://doi.org/10.3390/sym10100434>
- Saľabun, W., Palczewski, K., & Wątróbski, J. (2019). Multicriteria approach to sustainable transport evaluation under incomplete knowledge: Electric bikes case study. *Sustainability*, 11(12), 3314. <https://doi.org/10.3390/su11123314>
- Santos, T., Cardoso, M., Vieira da Silva, M. A., & Fernandes, V. A. (2024). Assessing mobility resilience and vulnerability under challenging transportation fare policies: Rio de Janeiro case study. *Urbe – Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 16, e20230236. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20230236>
- Senne, C. M., Lima, J. P., & Favaretto, F. (2021). An index for the sustainability of integrated urban transport and logistics: The case study of São Paulo. *Sustainability*, 13(21), 12116. <https://doi.org/10.3390/su132112116>
- Shamsi, M., Zakerinejad, M., & Zareifard, M. R. (2025). Optimal, reliable, and sustainable technology selection for mining overburden waste utilization using green and climate-smart mining (GCSM). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(3), 116118. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116118>
- Su, J., Liu, H., Chen, Y., Zhang, N., & Li, J. (2025). A novel multi-criteria decision making method to evaluate green innovation ecosystem resilience. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 139, 109528.

- <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109528>
- Suna Gider, K., & Koç, C. (2022). Sürdürülebilir ulaşım sistemi kapsamında bisiklet yollarının değerlendirilmesi: Diyarbakır örneği. *Gaziosmanpaşa Bilim Araştırmaları Dergisi*, 11(3), 122–136.
- Tursun, A. (2025). Sürdürülebilir ulaşım sistemlerinde sistem dinamiği yaklaşımı ve karmaşık etkileşimlerin incelenmesi. *Kent Akademisi*, 18(3), 1195–1208. <https://doi.org/10.35674/kent.1539983>
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2025). *UN-Habitat Annual Report 2024*. Nairobi, Kenya. www.unhabitat.org/annual-report-2024 (Accessed July 11, 2025)
- World Bank Group. (2025). *Urban population (% of total population)*. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS> (Accessed July 22, 2025)
- Yildirim, B., Ayyıldız, E., & Aydın, N. (2024). Optimal location selection for electric vehicle car-sharing stations using Fermatean fuzzy decision-making methodology. *Journal of Cleaner Production*, 485, 144400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144400>
- Yurdakul, M., & İç, Y. T. (2009). Application of correlation test to criteria selection for multi criteria decision making (MCDM) models. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40, 403–412.