



Araştırma Makalesi / Research Article

TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN ELEKTRİKLİ OTOBÜSLERİN PERFORMANSININ ENTROPİ VE WASPAS YÖNTEMLERİYLE ÖLÇÜLMESİ

Üzeyir AYDIN¹

Özet

Bu çalışma, toplu taşımada kullanılan ve Türkiye'de üretilip satılan elektrikli otobüslerin performansını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bunu başarmak için çok kriterli karar verme tekniklerinden Entropi ve WASPAS yöntemleri kullanılmıştır. Entropi yöntemi kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için, WASPAS yöntemi ise elektrikli otobüslerin performans sıralamasını yapmak için kullanılmıştır. Analiz sırasında en önemli performans kriterleri maksimum tork ve batarya kapasitesi olarak belirlenirken, en düşük performans kriterinin maksimum hız olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlara göre, Otocar Kent Electra entropi ağırlıklarına göre en yüksek performansı gösteren elektrikli otobüs olurken, Temsa MD9 ElectriCITY eşit ağırlıklara göre en iyi performansı gösteren elektrikli otobüs oldu. Öte yandan, Otocar Doruk Electra her iki ağırlık hesaplamasında da en kötü performansı gösteren otobüs olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Otobüs, Performans ölçümü, Toplu taşıma Sistemleri, Entropi yöntemi, WASPAS yöntemi.

JEL Kodları: C61, C30, D24, D25.

TOPLU ULAŞIM SİSTEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN ELEKTRİKLİ OTOBÜSLERİN ENTROPİ VE WASPAS YÖNTEMLERİYLE PERFORMANSLARININ ÖLÇÜMÜ

Öz

Bu çalışma, toplu taşımada kullanılan ve Türkiye'de üretilen ve satılan elektrikli otobüslerin performansını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bunun için çok kriterli karar verme tekniklerinden WASPAS ve Entropi yöntemleri kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıkları Entropi metoduyla hesaplanmıştır. Ardından, WASPAS metoduyla performans değerlendirmesi yapılarak elektrikli otobüslerin performansı sıralanmıştır. Çalışmada, en önemli performans kriterleri azami tork ve batarya kapasitesi iken en düşük performans kriteri azami hız bulunmuştur. Analiz dönemi içinde en yüksek performansı gösteren elektrikli otobüs entropi ağırlıklarına göre Otocar Kent Electra, eşit ağırlığa göre ise Temsa MD9 ElectriCITY'dir. Buna karşın, en kötü performansı gösteren otobüs ise her iki ağırlıkta da Otocar Doruk Electra'dır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Otobüs, Performans ölçümü, Toplu ulaşım sistemleri, Entropi yöntemi, WASPAS yöntemi.

JEL Kodları: C61, C30, D24, D25,

¹Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, uzeyir.aydin@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2777-6450

Alındı (Başvuru Tarihi): 28.11.2024

Kabul Edildi (Kabul Tarihi) : 26.01.2024

Giriş

Sanayi devrimi hızlı kentleşmeye yol açmış, kırsal kesimden insanların yeni fırsatlar aramak için şehirlere taşınmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, şehirlerde artan nüfus yoğunluğu yeni bir altyapı ihtiyacı doğurmuştur. Otomobillerin ortaya çıkışı, toplu taşıma hizmetlerine ve büyük şehirlerdeki araç sayısında artışa yol açmıştır (Yalız vd. 2011:887). Bu durum seyahat hızının düşmesine, toplu taşımanın düzensizleşmesine ve şehir içi yolcuların önemli ölçüde zaman kaybetmesine neden olmuştur. Tıkanıklık nedeniyle şehir merkezindeki varış noktalarına erişim tehdit altındadır. Diğer zorluklar ise yol güvenliği, artan hava kirliliği, trafik gürültüsü ve küresel ısınmadır (Banister, 2005). Bu nedenle, mevcut ulaşım, çevre ve gelecek nesiller için sürdürülebilir yatırımlara öncelik vermek önemlidir. Sürdürülebilir ulaşım, şimdi ve gelecekte insan ve ekosistem sağlığını, ekonomik ilerlemeyi ve sosyal adaleti koruyup geliştirirken hareketlilik ihtiyaçlarını karşılayan ulaşım olarak tanımlanmaktadır (Deakin vd. 2002: 173).

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında 2021-2030 yılları arasında belirlenen baz senaryo doğrultusunda emisyonlarını %21 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2022). Büyükşehir statüsündeki 30 ili kapsayan bir çalışmada, 2010 ve 2019 yılları için karayolu kaynaklı sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Toplam sera gazı emisyon miktarı 2010 yılında 43.403 Gg CO₂ iken, 2019 yılında yaklaşık %62 artışla 70.271 Gg'a yükselmiştir. Yıllık artış %3,82 olarak raporlanmıştır. Bununla birlikte, 2010 yılında Türkiye'deki toplam sera gazı emisyonlarının %10,88'i büyük şehirlerdeki karayolu taşımacılığından kaynaklanmıştır (Dündar, 2021). Bu veriler, Türkiye'de karayolu kaynaklı sera gazı emisyon miktarının sürekli arttığını ve toplam emisyon miktarı içinde önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir.

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre hava kirliliği dünyanın en büyük sorunudur. Hava kirliliği, yüksek tansiyon, yetersiz beslenme ve sigaradan sonra dördüncü en yüksek ölüm nedeni olarak kaydedilmektedir (WHO, 2022). Bu durum hem küresel hem de yerel ölçekte bazı kısıtlayıcı yeni düzenlemelere yol açmıştır. Kentleri daha yaşanabilir kılmak için ilgili yönetimler tarafından ulaşım kavramına ilişkin bazı önceliklendirmeler yapılmakta ve mevcut ulaşım stratejileri gözden geçirilmektedir (Topal, 2023: 296).

Dünya nüfusunun %50'sinden fazlası şehirlerde yaşamaktadır ve bu oranın 2050 yılına kadar %70'e ulaşacağı tahmin edilmektedir (Cao vd., 2022). Şehirlerdeki nüfus artışı beraberinde daha fazla hareketliliği ve dolayısıyla daha fazla ulaşım ihtiyacını getirmektedir. Avrupa Enerji Ajansı'nın verilerine göre, küresel ölçekte iklim değişikliğinin ana nedenlerinden biri olan ulaşım kaynaklı emisyonların (NO_x emisyonları) %50'den fazlası Avrupa genelinde ulaşım sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, ulaşım kaynaklı emisyonların artması çevre duyarlılığını büyük ölçüde artırmaktadır (Genç, 2021).

Bu bağlamda, ulaşım ile ilgili emisyonları anlamak için çeşitli yakıt teknolojilerinin göreceli çevresel özelliklerini ortaya koymak önemlidir. Aşağıdaki Tablo 1, çeşitli yakıt türleri için seçilmiş emisyon ölçümlerini göstermektedir.

Tablo 1: *Alternatif Yakıtlar - Emisyon Karşılaştırması*

	Dizel (Euro VI)	Doğal Gaz (CNG)	Biyoya küt (HVO)	Dizel Plug-in hibrit (PHB)	Batarya Elektrik (BEB)	Hidrojen (FCB)
Yerel emisyonlar (NOx-PM)	Başlangıç Noktası uyumluluğu	Euro VI			Sıfır	Sıfır
Küresel emisyonlar (CO₂) WTT	Başlangıç Noktası					
Küresel emisyonlar (CO₂) TTW	Başlangıç ç Noktası				Sıfır	Sıfır
Küresel emisyonlar (CO₂) WTW	Başlangıç Noktası					
WTW: Elektrik Kaynağına Bağlı Olarak (Oklar ortalama AB elektrigiine eşittir 295g CO₂/kWh - kaynak: AÇA) Dizele kıyasla çok daha düşük emisyon Dizele kıyasla daha düşük emisyon Dizele kıyasla aynı/benzer emisyon Dizele kıyasla çok daha yüksek emisyonlar						

Kaynak: Smadi, S. & Hussein, M. (2020). Mena'da elektrikli otobüs. politika belgesi, friedrich-ebert-stiftung ve ulaşırma mükemmeliyet merkezi (CTE. Kasım 2020, <https://Library.Fes.De/Pdf-Files/Bueros/Amman/17182.Pdf> (Erişim Tarihi: 15.11.2023).

Bataryalı elektrikli araçlar, fosil yakıtlara dayanan geleneksel ulaşır sistemlerine umut verici bir alternatiftir. Geri dönüşüm teknolojileri ile enerji tasarruflu, esnek ve güvenilir çözümler sunmaktadırlar. Elektrikli araç teknolojilerine yönelik araştırmalar giderek artmakta ve sürdürülebilir ulaşır için farklı yaklaşımlar araştırlmaktadır.

Elektrikli araçlar, dahili konvansiyonel sistemlere sahip araçların yerine kullanılabilecek geleceğin en popüler seçeneklerinden biridir. İçten yanmalı motorlara sahip kamu araçları, metropollerde insan yaşamının kalitesini olumsuz etkileyen sera gazı emisyonları ve gürültü yaratıyor. Elektrikli araç sistemleri sessizlikleri, düşük emisyon değerleri ve operasyonel finansal avantajları sayesinde bu sorunlara çözüm sunma potansiyeline sahiptir. Elektrikli otobüsler, yakıt ekonomisi gibi avantajlı unsurların yanı sıra ulaşırda sürdürülebilirlik bilincinin artırılmasına yönelik yenilikçi bir yaklaşır sunması nedeniyle özellikle trafiğin yoğun olduğu büyükşehirlerde önem taşımaktadır (Topal, 2019: 156).

Ulaşır ve trafik sorununun çözümünde toplu taşırmanın geliştirilmesine yönelik yatırım ve çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir, yaşanabilir kentler, mevcut kaynakların verimli kullanılmasıyla ekonomiye, çevreye ve sosyal hayata önemli katkılar sağlayarak oluşturulabilir. Toplu taşırma hatlarının yeniden planlanması, yeni hatların açılması, aktarma noktalarının düzenlenmesi, mevcut toplu taşırma sisteminde iyileştirmeler yapılması, motorsuz araçlar, bisiklet ulaşırının desteklenmesi, raylı sistemlere ağırlık verilmesi, otopark kapasitesinin artırılması, ulaşır sisteminin hızının artırılması, özel toplu taşırma seçeneklerinin oluşturulması, yeni ring seferlerinin düzenlenmesi gibi birçok çözüm önerisi ortaya atılmaktadır. Toplu taşırma, sürekli değişen çevre koşulları, demografik yapı, teknoloji, insan kaynaklarının niteliği ve talepteki değişimler dikkate alınarak planlanması gereken dinamik bir sistemdir. Bu faktörlerin sürekli farklılaşması ve bunlara karşı alınabilecek önlemler sürdürülebilirliği sağlayacaktır (Hamurcu & Eren, 2018:2-3).

Toplu taşırıcılıkta, özellikle de elektrikli otobüslerle ilgili karar alma süreci karmaşık bir süreçtir

çoklu ekonomik, çevresel ve kentsel yolcu taşımacılığı sistemlerinin tasarımı ve işletilmesini içerir. Bu nedenle, elektrikli otobüslerin seçimini etkileyen performanslarını ölçmek için çok kriterli karar verme teknikleri kullanılmaktadır. Entropi yöntemi ve WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) yöntemi, Türkiye'de satılan elektrikli otobüslerin performanslarını 11 kriter yardımıyla ölçmek için kullanılmıştır. Çalışmada optimal lambda değeri hesaplanmış ve performans sıralaması araştırılmıştır. Çalışmada literatür taraması, Entropi ve WASPAS yöntemlerinin açıklanması, sonuçların analizi, genel değerlendirme ve politika önerileri yer almaktadır.

1. Literatür Taraması

Araç seçim problemi son zamanlarda literatürde yoğun ilgi gören konular arasında yer almaktadır. Araç seçim problemi çeşitli yöntemlerle incelenmiş ve çok kriterli karar verme yöntemleri araç seçim problemlerinde sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında literatürde araç seçim problemlerini ele alan çalışmalar incelenmiştir. Literatürde araç seçimini bireysel otomobil seçimi, lojistik ve taşımacılık faaliyetleri ve toplu taşıma faaliyetleri olmak üzere üç grupta incelemek mümkündür.

Otomobil seçimi; Apak ve diğerleri (2012) lüks otomobil seçimi problemi için AHP yöntemini kullanmıştır. Soba (2012) PROMETHEE yöntemi ile en uygun otomobil seçimini gerçekleştirmiştir. Yavaş ve diğerleri (2014) yakıt, maliyet, tasarım, servis olanakları, motor gücü ve donanım faktörlerini dikkate alarak otomobil seçimi için AHP ve AAS yöntemlerini kullanmıştır. Patil ve diğerleri (2017) dış görünüm, iç görünüm, ek özellikler, yol güvenilirliği ve satış sonrası kriterlerini dikkate alarak bulanık AHP ve Gri İlişki analizini kullanarak en uygun otomobilin seçimini gerçekleştirmişlerdir. Yaykaşlı ve Ecemiş (2018), otomobil seçim problemini satın alma öncesi, satın alma sırası ve satın alma sonrası olmak üzere üç ana kritere ait dokuz alt kriteri dikkate alarak incelemişlerdir. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edildikten sonra Multi MOORA ve Gri İlişki analizi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Singh ve Avikal (2019) Hindistan'da sedan otomobil seçimini bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri ile incelemiştir. Babacan (2020) orta gelir grubundaki bireylerin otomobil seçim problemini gelir düzeylerindeki farklılıkları dikkate alarak VİKOR yöntemi ile incelemiştir.

Araç seçimi problemi lojistik ve taşımacılık sektöründe çok önemli problemler arasında yer almaktadır. Faaliyetin doğası gereği kullanılacak araç ana maliyet unsurları arasında yer almaktadır. Bu nedenle lojistik sektöründe araç seçim problemi literatürde önemli bir seçim problemi olarak yer almaktadır. Kabak ve Uyar (2013) çalışmalarında AAS ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak ekonomi, performans, ekipman satış sonrası hizmetler, imaj ve prestij kriterlerini dikkate alarak en uygun ağır ticari aracı seçmişlerdir. Doğan ve diğerleri (2017) benzer kriterleri dikkate alarak COPRAS-G yöntemi ile lojistik sektörü için en uygun aracı seçmiştir. Ömürbek ve diğerleri (2014) çalışmalarında beyaz eşya servis faaliyetlerinde kullanılmak üzere satın alınması planlanan hafif ticari araçların seçiminde AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmışlardır. Arslan (2017) lojistik sektöründe ağır ticari araç seçimini AHP ve ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemlerini kullanarak garanti süresi, fiyat, yakıt tüketimi ve güç kriterlerini dikkate alarak yapmıştır. Demirci (2020) yedi alternatif arasından en uygun alternatifi fiyat, yakıt, motor ömrü, satış sonrası destek ve ikinci el imkânlarını dikkate alarak TOPSIS ve VİKOR yöntemlerini kullanarak belirlemiştir.

Toplu taşıma araçlarının seçimini inceleyen çalışmalar: Tzeng (2005) toplu taşıma için en uygun alternatif yakıtlı otobüslerin seçimini çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirmiştir. Şengül ve diğerleri (2012) Erzurum ilindeki belediyelerin toplu taşıma aracı seçimini incelemişlerdir. Bu kapsamda çalışmada sekiz kriter ve beş alternatif belirlenmiş ve bulanık AHP yöntemi kullanılarak en uygun alternatif seçilmiştir. Babakan ve diğerleri (2013) kent içi toplu taşıma aracı seçimini gerçekleştirmişlerdir.

AAS, TOPSIS ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yöntemlerini kullanarak ulaşım. Shafabakhsh ve diğerleri (2014) uluslararası bir havalimanına ulaşım için en uygun toplu taşıma sisteminin seçimini bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmiştir. Aydın ve Kahraman (2014) Ankara'da toplu taşıma için alternatif yakıtlı otobüs seçimi problemini çok kriterli karar verme yöntemleri ile incelemişlerdir. Çalışmada ekonomik, sosyal ve teknoloji ana kriterleri ile on altı alt kriter dikkate alınarak kriter ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile elde edilmiş, daha sonra bulanık VIKOR yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır. Akpınar (2016) İzmir'de bir üniversitede en uygun ring aracını AHP yöntemi ile seçmiştir. Akman ve Alkan (2016) İzmit belediyesi sınırları içerisinde toplu taşımanın yoğun olarak kullanıldığı bir güzergâh için en iyi alternatifi belirlemek amacıyla AHP ve Aksiyomatik Tasarım yöntemlerini kullanarak seçim yapmışlardır. Çalışmada alternatiflerin değerlendirilmesinde maliyet, ulaşım hattı özellikleri, araç özellikleri, çevresel duyarlılık ve müşteri memnuniyeti kriterleri dikkate alınmıştır. Hamurcu ve Eren (2017) toplu taşımada monoray teknolojisinin seçimini çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yedi ana kriter ve on beş alt kriter belirlenmiş, AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak en uygun alternatif belirlenmiştir. Büyüközkan ve diğerleri (2018) sürdürülebilir şehir içi ulaşım için alternatiflerin seçimini çok kriterli karar verme yöntemleri ile incelemişlerdir. Hamurcu ve Eren (2018) çalışmalarında teknolojik, ekonomik ve çevresel kriterler olmak üzere üç ana kriter ve toplam 12 alt kriter ile üç alternatiften oluşan bir toplu taşıma sistemi seçimi yapmışlardır. Çalışmada AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edildikten sonra AAS yöntemi ile alternatiflerin seçimi gerçekleştirilmiştir. İstanbul'da ulaşım kaynaklı, çevreye zararlı gazların azaltılmasına büyük katkı sağlayacağı düşünülen içten yanmalı motorlar yerine elektrik motorları kullanan elektrikli araçların işletilmesi üzerine Varol ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada, gelecekte toplu taşımada elektrikli araç sistemlerinin kullanılacağı varsayıldığı senaryolara yer verilmiştir. Öngörülen nihai senaryoda ticari taksilerin %100'ünün, otobüslerin %70'inin ve minibüslerin %30'unun elektrikli araçlara dönüştürüleceği varsayılırken, elektrikli araç sistemlerine geçişin emisyonları azaltacağı belirtiliyor. Karayolu taşımacılığının birçok ülke ve şehirde büyük bir paya sahip olduğunu belirten Hamurcu ve Eren (2018), elektrikli araçlara olan ilginin arttığını ve elektrikli araçların ulaşım sektöründe alternatif bir çözüm olarak ön plana çıktığını belirtmiştir. Çalışmada belirlenen kriterler dahilinde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak, kent içi ulaşımın iyileştirilmesi için yüksek kapasiteli elektrikli otobüsler değerlendirilmiş ve elektrikli otobüslerin belediyeçilik anlayışı içerisinde toplu taşımada konfor ve güvenlik sağlayarak çevre ve kent içi ulaşımında sürdürülebilirlik yolunda önemli bir adım olacağı belirtilmiştir. Cuma ve diğerleri (2016) Çukurova Üniversitesi'nde kullanılması planlanan elektrikli araçlar için şarj istasyonu altyapısı ve bu altyapının mevcut sisteme entegrasyonu ile ilgili çalışmalara ve elde edilen simülasyon sonuçlarına yer vermiştir. Çelikoğlu ve Hülagü (2018), elektrikli araçların gelişen teknoloji ile birlikte hem özel hem de toplu taşıma kullanımında fosil türevi yakıtlı araçlara göre nispeten çevre dostu bir seçenek olmasına rağmen özellikle batarya teknolojisi kapsamındaki kısıtlarının hem kullanım amaçları hem de yol ağı özellikleri açısından incelendiğini belirterek altyapının planlanması ve değerlendirilmesinin önemini vurgulamıştır. Konuyla ilgili öncelikli uygulama alanlarının özellikle şehir içi toplu taşıma sistemlerinde değerlendirilmesinin uygun olacağını belirtmiştir. Süt ve diğerleri (2019), Kırıkkale Üniversitesi'nde yeşil ulaşım kapsamında ring araçlarının seçimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada yeşil ulaşım kapsamında değerlendirilebilecek beş farklı otobüs teknolojisi alternatifi incelenmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesinde AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak sekizi ana kriter olmak üzere toplam on iki alt kriter belirlenmiş ve en uygun alternatif seçilmiştir. Hamurcu ve Eren (2020) yeşil ulaşım için elektrikli otobüs seçimini çok kriterli karar verme yöntemleri ile inceledikleri çalışmalarında altı kriter belirleyerek en uygun araç seçimini belirlemişlerdir.

hız, yolcu kapasitesi, ulaşım ağı ve aracın teknik özelliklerinden oluşmaktadır. Topal (2019) çalışmasında, Türkiye'nin toplu taşıma sisteminde kullanılan elektrikli otobüslere ilişkin mevcut durumu ayrıntılı olarak ortaya koymuştur. Alakaş ve diğerleri (2020) toplu taşıma sistemlerinde araç tipi seçimini Kırıkkale kampüs hattı örneğini kullanarak yapmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edilmiş ve bulunan ağırlıklar kullanılarak TOPSIS yöntemi ile alternatifler sıralanmıştır. Önçaç ve diğerleri (2021) İzmir kentsel alan analizi üzerinden elektrikli otobüslerin karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yapmıştır. Son olarak, Topal (2023) Türkiye'deki toplu taşıma sistemleri için elektrikli otobüs tedarikine yönelik farklı iş modellerini değerlendirmiştir.

Literatürden de anlaşılabacağı üzere elektrikli araç seçiminde çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanıldığı ve konunun çeşitli açılardan ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada da elektrikli otobüslerin performansı ölçülürken kullanılacak kriterler literatüre dayalı olarak seçilmiştir. Çalışmada Entropi ve WASPAS yöntemleri tercih edilmiş ve diğer çalışmalardan farklı olarak performans sıralamasının değişip değişmediğini ortaya koymak için optimal lambda değeri de hesaplanmıştır.

2. Yöntem ve Analiz

Çalışmanın amacı, Türkiye'de toplu taşıma sisteminde kullanılan elektrikli otobüslerin seçilen kriterler açısından performans sıralamasını yaparak verimlilik düzeylerini belirlemektir. Bununla birlikte çok kriterli karar verme tekniklerinden Entropi ve WASPAS yöntemlerini açıklamak ve performans sıralamasında kullanılabilirliğini tartışmak çalışmanın bir diğer amacıdır. Çalışma kapsamında kullanılan kriterler Entropi yöntemi ile ağırlıklandırılmış, ardından WASPAS yöntemi kullanılarak performans sıralaması yapılmıştır.

2.1. Araştırma Yöntemi

Çalışma kapsamında çok kriterli karar verme tekniklerinden Entropi yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve ardından WASPAS yöntemi ile söz konusu elektrikli otobüslerin performans seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Entropi Yöntemi

Entropi kavramı Rudolph Clausius (1865) tarafından sistem içindeki kaosu tanımlamak için kullanılmıştır (Zhang vd. 2012:344). Günümüzde entropi kavramı Shannon (1948) tarafından bilgi teknolojilerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Entropi yöntemi, yararlı bilgi miktarını ölçmek için geliştirilmiştir. Yöntemin en önemli özelliği tüm yapıya uygulanabilmesidir. Bununla birlikte yöntem objektif bir yapıya sahiptir. Entropi yöntemi 5 aşamadan oluşmaktadır (Aydın vd. 2018: 1129).

1. Aşama: Karar matrisinin normalizasyonu gerçekleştirilir. Kriterler fayda ve maliyet yapıları dikkate alınarak normalize edilir.

$$r_{ij} = \{x_{ij} | \max_{ij}\} (i=1 \dots m; j=1 \dots n) \quad (1)$$

$$r_{ij} = \{x_{ij} | \min_{ij}\} (i=1 \dots m; j=1 \dots n) \quad (2)$$

2. Aşama: P_{if} değeri normalizasyon ile hesaplanır.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}; \forall_j \quad (3)$$

i = alternatifleri

j = kriterler

P_{ij} = normalleştirilmiş değerler

Aşama 3: E_j 'nin entropisinin hesaplanması;

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [P_{(ij)} \ln P_{ij}] ; \forall_j \quad (4)$$

$$k = (\ln(n))^{(-1)}$$

k = Entopia katsayısı

E_j = Entopia değeri

P_{ij} = normalleştirilmiş değerler

4. Aşama: d_j belirsizliğinin hesaplanması;

$$d_j = 1 - E_j ; \forall_j \quad (5)$$

5. Aşama: J kriterinin önemini belirlemek için w_j ağırlık değerleri hesaplanır.

$$w_{(j)} = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} ; \forall_j \quad (6)$$

WASPAS Yöntemi

WASPAS Yöntemi 2012 yılında Zavadskas ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Yöntem; WSM (Weighted Sum Model) Ağırlıklı Toplam Modeli ve WPM (Weighted Product Model) Ağırlıklı Ürün Modelinin birleşiminden oluşmaktadır. Yöntemin amacı sıralama doğruluğunu artırmaktır (Zavadskas vd., 2013: 3).

WASPAS yöntemi 6 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Zavadskas vd., 2012:3).

1. Aşama: Karar Matrisinin Oluşturulması:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Burada; m aday alternatiflerin sayısı, n değerlendirme kriterlerinin sayısıdır. x_{ij} , j. kriter göz önünde bulundurularak birinci alternatifin performansdır.

2. Aşama: Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması:

İki ayrı ÇKKV yaklaşımının eşit kombinasyonu olan WASPAS yönteminin uygulanmasında aşağıdaki iki denklem kullanılarak doğrusal normalizasyon gerçekleştirilir.

Fayda kriterleri için kullanılacak eşitlik;

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{\max_{(i) x(ij)}} \quad (8)$$

Maliyet kriterleri için kullanılacak denklem;

$$\bar{x}_{ij} = \min_{x_{ij}} / x_{ij} \quad (9)$$

Normalleştirme bu denklemler kullanılarak yapılır. Burada x_{ij} değeri, x_{ij} değerinin normalleştirilmiş halidir.

Aşama 3: Ağırlıklı Toplam Modeline (WSM) dayalı i. Alternatifin genel göreceli öneminin hesaplanması:

WASPAS yönteminde, iki eşitlik kriterine dayalı olarak eşzamanlı bir iyimserlik kriteri aranır. Toplam göreceli değer önemi, birinci alternatif değerinin her bir kriterin ağırlık değeri ile çarpılması ve ardından her bir alternatif değerinin sırasıyla aşağıdaki gibi toplanmasıyla hesaplanır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \cdot w_j \quad (10)$$

Aşama 4: Ağırlıklı Ürün Modeline (WPM) dayalı olarak i. Alternatifin genel göreceli öneminin hesaplanması:

Bu adımda WPM'ye göre toplam göreceli önem değerleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır. Normalize edilmiş karar matrisi üzerindeki her bir alternatif kriterin değeri için ilgili kriter ağırlığının gücü alınır ve her bir alternatif için sırasıyla değerler çarpılarak $Q_i(2)$ değeri hesaplanır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (11)$$

Aşama 5: Ağırlıklı Toplam ve Ağırlıklı Çarpım Modelleri için ağırlıklı ortak genel kriter değerinin hesaplanması:

$$Q_i = 0,5Q_i^{(1)} + 0,5Q_i^{(2)} = 0,5 \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \cdot w_j + 0,5 \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (12)$$

Aşama 6: Alternatiflerin Toplam Göreceli Öneminin Hesaplanması:

Karar verme sürecinin sıralaması için WASPAS yöntemi kapsamında, alternatiflerin toplam göreceli önemini belirlemek için genel bir model geliştirilmiştir.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1-\lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \cdot w_j + (1-\lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (\lambda = 0, 0,1, 0,2, \dots, 1) \quad (13)$$

Belirlenen alternatifler Q değerine göre sıralanır, yani en iyi alternatif en yüksek Q değerine sahip olmalıdır. $\lambda=0$ olduğunda WASPAS yöntemi WPM'ye, $\lambda=1$ olduğunda ise WSM'ye dönüşür.

Ayrıca, denklem (13)'te görülen WASPAS yönteminin varyansı WSM ve WPM'ye dayalı olarak tahmin edilmekte ve λ katsayısı ile gösterilmektedir. Buna göre çalışmada optimal λ değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Zavadskas et. al. 2012: 4).

$$\lambda = \frac{\sigma^2(Q_i)}{\sigma^2(Q^{(1)}) + \sigma^2(Q_i)} \quad (14)$$

2.2. Analiz Sonuçları

Ülkemizdeki otomotiv sektöründe otobüsler, otomobil sınıfından farklı olarak ilgili araç üreticileri tarafından yerli üretim yoluyla satışa sunulmaktadır. Diğer birçok sanayi dalında olduğu gibi başlangıçta askeri alanlarda yapılan geliştirmeler ve yerli tasarımlar daha sonra ulaşım segmentine entegre edilerek kullanıma sunulmaktadır. Otokar, Karsan, BMC, Anadolu Isuzu ve Temsa gibi Türkiye'nin önde gelen konvansiyonel otobüs üreticileri, ürün gamlarına elektrikli otobüsleri de kademeli olarak eklemekte ve bu konudaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerini sürdürmektedir.

Artan çevre bilinci ve akıllı şehircilik ilkeleri çerçevesinde sıfır emisyonlu sürdürülebilir toplu taşıma ana hedefine doğru ilerleyen yerel yönetimler, otobüs üreticilerini sıfır karbon salınımına sahip ve elektrikli çekiş sistemleri ile çevreyi koruyan ulaşım araçları üretmeye zorluyor. Elektrikli araç konseptinde içten yanmalı motor bulunmaması ve şanzıman gerektirmeyen yüksek torklu elektrik motorları sayesinde sessiz çalışarak gürültü kirliliğinin önemli ölçüde azaltılmasında fayda sağlayan yenilikler sunuyor.

Bu noktada şehir içi ulaşımında beklentiler çevre dostu araçlara yönelik olsa da gelişen teknoloji ile birlikte çeşitlenen bu araçlardan bir beklenti de söz konusudur. Elektrikli çekiş sistemleri ile yüksek güvenilirlik, düşük bakım maliyetleri ile altyapı ve ilk yatırım maliyetleri, yolcu başına enerji açısından yüksek verimlilik, sessiz ve güvenli yolculuk, güçlü ancak daha yumuşak hızlanma ve frenleme, yüksek yolculuk kalitesi, mekanik güvenilirlik ve verimlilik, yüksek manevra kabiliyeti gibi hedefler karşılanmak istenmektedir (Hamurcu ve Eren, 2018: 5). Bu kapsamda Türkiye'de üretilen ve satışa sunulan 10 adet alternatif yüksek kapasiteli elektrikli araç değerlendirilmek üzere belirlenmiştir. Hâlihazırda Türkiye'de elektrikli otobüsler 2 ana kategoride üretilmektedir. Birincisi bataryalı elektrikli otobüs konsepti, toplu taşıma sistemleri için farklı şarj teknolojilerine sahip, 5,8 m'den 26 m'ye kadar değişen, farklı şarj altyapı gereksinimleri olan modeller; diğer kategoride ise gücünü genellikle yol boyunca sarkıtılan bir elektrik hattından alan 24m - 25m'lik elektrikli otobüsler olan trolleybüslerin üretimi ve satışı da yapılmaktadır. Bu çalışmada birinci kategoride yer alan Türkiye'de üretilen ve satılan elektrikli otobüsler değerlendirilmiştir.

Ayrıca yukarıda detayları verilen literatürden yola çıkılarak araçların özellikleri doğrultusunda 10 adet değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Kriterlere ilişkin veriler Eylül 2023 itibarıyla alınmıştır. Veriler ilgili marka ve modelin resmi web adreslerinden derlenmiştir. Değerlendirmeye alınan elektrikli otobüsler ve değerlendirme kriterleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Kriterler arasında ortalama tüketimin düşük olması, şarj süresinin kısa olması ve ortalama menzil başına batarya kapasitesi olarak tanımlanan verimlilik oranının düşük olması beklenmektedir. Öte yandan menzil, batarya kapasitesi, motor gücü, tork, koltuk kapasitesi ve tırmanma kabiliyetinin yüksek olması istenmektedir.

Tablo 2: Dikkate Alınan Otobüsler ve Değerlendirme Kriterleri

Elektrikli Otobüs Markaları-Modelleri	Kriterler	Kriter Değerlendirme
Bozankaya E Otobüs 10	K1: Ortalama Tüketim (100 km başına kWh)	Min.
Temsa Avenue Elektron - Avenue EV	K2: Menzil Ortalaması (WLTP Tahmini)	Max.
Karsan e-ATA 12	K3: Batarya Kapasitesi (kWh)	Max.
Bozankaya E Otobüs Sileo s12	K4: Hızlı Şarj Süresi (150 kW DC hızlı ile saat şarj etme)	Min.
Karsan e-ATAK	K5: Motor Gücü (kW)	Max.
Otokar Kent Electra E Kent C	K6: Maksimum Tork (Nm)	Max.
Temsa MD9 ElectriCITY	K7: Koltuk Kapasitesi	Max.
BMC Neocity Elektrik	K8: Tırmanma Yeteneği	Max.
Anadolu Isuzu NovoCiti Volt	K9: Verimlilik Oranı (Pil kapasitesi/ortalama menzil) (wh/km)	Min.
Otokar Doruk Electra	K10: Maksimum Hız (kmh)	Max.

Performans kriterlerinin ağırlıkları Entropi yöntemi ile hesaplanmıştır. Hesaplanan Entropi kriter ağırlık değerleri (w_j) Tablo 3'te gösterilmiştir. Buna göre en önemli ilk iki performans kriteri maksimum tork (K6) ve batarya kapasitesidir (K3). En düşük performans kriterleri ise; verimlilik oranı (K9) ve maksimum hızdır (K10). Analizde kullanılan 10 kriterin her biri %10'luk eşit ağırlık alacağından, Entropi ağırlığı %10'dan fazla olan kriterler Tabloda vurgulanmıştır.

Tablo 3: Analizde Kullanılan Kriterlerin Entropi ve Eşit Ağırlıkları

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	Toplam Ağırlık
Entropi	0,047	0,079	0,176	0,131	0,163	0,236	0,065	0,054	0,043	0,005	1
Entropi Ağırlık Kardinalite	8	5	2	4	3	1	6	7	9	10	
Eşit Ağırlık	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1

Daha sonra WASPAS yöntemi kullanılarak otobüslerin performansları değerlendirilmiş ve sıralamaları yapılmıştır. WSM ve WPM kapsamında $Q_i^{(1)}$ ve $Q_i^{(2)}$ değerleri hesaplandıktan sonra Ağırlıklı Ortak Genel Kriter Değerleri Q_i hesaplanmış ve ardından sıralama yapılmıştır. WASPAS yönteminde sıralama doğruluğunu ve karar verme sürecinin etkinliğini artırmak amacıyla lambda (λ) etkisi incelenmektedir. Alternatiflerin genel göreceli önemini belirlemek için daha genel bir adım olan sıralama üzerindeki λ etkisi de hesaplanmıştır. Q_i , sıralama değerleri ve Optimal λ Değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Ağırlıklandırılmış Ortak Genel Kriterler ve λ Değerlerine Göre Sıralama

Elektrikli Otobüs Markaları-Modelleri	Entropi Ağırlığına Göre			Eşit Ağırlığa Göre		
	Qi	W	λ	Qi	W	λ
Otokar Kent Electra E Kent C	0,810	1	1	0,803	2	2
Temsa MD9 ElectriCITY	0,766	2	2	0,807	1	1
Temsa Avenue Electron - Avenue EV	0,763	3	3	0,783	4	4
Karsan e-ATA 12	0,757	4	4	0,758	5	5
Anadolu Isuzu NovoCiti Volt	0,738	5	5	0,787	3	3
BMC Neocity Elektrik	0,689	6	6	0,711	8	8
Bozankaya E Otobüs Sileo s12	0,667	7	7	0,735	6	6
Karsan e-ATAK	0,667	8	8	0,728	7	7
Bozankaya E Otobüs 10	0,630	9	9	0,709	9	9
Otokar Doruk Electra	0,409	10	10	0,628	10	10
Optimal Lambda Değeri	0,569			0,657		
Qi: Ağırlıklı Ortak Genel Kriter Değeri						
λ : Optimal Lambda Değerlerine Göre Sıralama						
W: WASPAS Sonuç Değerlerine Göre Sıralama						

Tablo 4'e göre; en iyi performans gösteren elektrikli otobüs entropi ağırlıklarına göre Otokar Kent Electra iken, eşit ağırlıklara göre Temsa MD9 ElectriCITY'dir. Öte yandan en kötü performans gösteren otobüsler ise her iki ağırlıkta da sırasıyla Otokar Doruk Electra ve Bozankaya E Bus 10'dur. WASPAS yönteminde, sıralama doğruluğunu ve karar verme sürecinin verimliliğini artırmak için lambda (λ) etkisi incelenmektedir. Alternatiflerin genel görelî önemini belirlemek için daha genel bir adım olan sıralama üzerindeki λ etkisi hesaplanmış ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4'te görüleceği üzere Optimal λ değerleri yüzde 50'nin üzerinde olduğu için hem W hem de L sıralaması aynıdır. Bu durumda optimal λ 'nın sıralamaya etkisi incelendiğinde Qi sıralaması ile aynı sonuç elde edilmiş, performans sıralamasında bir değişiklik olmamıştır.

3. Sonuç

Çalışmada, Türk toplu taşıma sisteminde kullanılan ve Türkiye'de üretilip satılan elektrikli otobüslerin performansı, on kriter dikkate alınarak entropi ve waspas yöntemleri kullanılarak ölçülmüştür. En önemli ilk iki performans kriteri maksimum tork (K6) ve batarya kapasitesi iken, en düşük performans kriterleri verimlilik oranı (K9) ve maksimum hızdır (K10).

Çalışmada, analiz dönemi için en yüksek performans gösteren elektrikli otobüs entropi ağırlıklarına göre Otokar Kent Electra, eşit ağırlıklara göre ise Temsa MD9 ElectriCITY'dir. Öte yandan, en kötü performans gösteren otobüs ise her iki ağırlıkta da Otokar Doruk Electra'dır. Çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak optimal lambda değerine göre WASPAS performans sıralamasında sonuçlar değişmemiştir. Ancak sıralamanın seçilen kriterler açısından yapıldığı, kriterler ve analiz edilen dönemler değiştirildiğinde sıralamanın farklılaşabileceği unutulmamalıdır.

Öte yandan elektrikli otobüsler hala daha az yaygındır. Elektrikli otobüslerin güvenilirliği halen geleneksel içten yanmalı motorların önemli ölçüde altındadır. Aynı pik hizmet seviyesini karşılamak için daha fazla elektrikli otobüs gerektiğinden, bu durum ek yatırım maliyetlerine yol açmaktadır. Buna ek olarak, teorik olarak geleneksel motorlardan daha düşük olması gereken bakım ve işletme maliyetleri, yedek parçaların daha az bulunabilir olması, daha yüksek yedek parça maliyetleri ve daha uzun onarım süreleri nedeniyle pratikte daha yüksektir. Batarya maliyetleri hala çok yüksektir ve bataryaların ömrü sınırlıdır. Bu sorunlar yeni teknolojiler için tipiktir. Bu nedenle elektrikli otobüsler, karbon finansmanı ile bile konvansiyonel ünitelere kıyasla henüz mali açıdan uygun görülmemektedir. Bununla birlikte, çeşitli

Menzil, batarya ağırlığı ve batarya maliyeti sorunlarını çözmek için seçenekler deniyor. Elektrikli araç teknolojileri ve yatırımları çok hızlı ilerliyor. Bu hızlı gelişim sonucunda elektrikli otobüslerin maliyetinin düşeceği, maliyetler düşerken batarya kapasitesinin ve verimliliğinin artacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak bu tür sistemler içten yanmalı motorlara sahip otobüslere iyi bir alternatif olabilir. Öte yandan özellikle toplu taşıma araçlarının elektrikli sistemlere geçişi için yapılan kabuller çerçevesinde elektrik enerjisine olan ihtiyacın artacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu enerjinin temini için mevcut yöntemde kullanılan elektrik enerjisi üretim tesislerinin olduğu gibi kullanılmaya devam edilmesi halinde enerji arzında açık yaşanabilir. Bu şekilde elektrik enerjisi üretimi artırılmalı, bu yapılırken de mümkün olduğunca yenilenebilir kaynaklara öncelik verilmelidir.

Referanslar

- Akman, G., & Alkan, A. (2016). İzmit kent içi ulaşımında alternatif toplu taşıma sistemlerinin aksiyomlarla tasarım yöntemi ile değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 54-63. <https://doi.org/10.5505/pajes.2015.55376>
- Akpınar, M. E. (2016). Üniversite halka sistemi kalitesinin optimizasyonu. *Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 12-14 Ekim 2016 İstanbul, 50-55.
- Alakaş, H. M., Yazıcı, E., Cebeci, S., Yılmaz, E. E., & Eren, T., (2020). Toplu ulaşım sistemlerinde araç tipi seçimi: Kırıkkale kampüs hattı örneği, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Ocak 2021 11(1), 269-287.
- Apak, S., Gögüş, G. G., & Karakadılar, İ. S. (2012). Lüks otomobil seçimi için yeni bir çerçeve ile analitik hiyerarşi süreci yaklaşımı. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 58, 1301- 1308. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.1113>
- Arslan, H.M. (2017). Lojistik firmalarının optimal araç seçiminin AHP- ARAS hibrit yöntemi ile belirlenmesi. *Alphanumeric Journal* 5(2), 271-282. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/372271>
- Aydın, S., & Kahraman, C. (2014). Bütünleşik çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak toplu taşıma için araç seçimi: Ankara örneği. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 26, 2467-2481. <https://doi.org/10.3233/IFS-130917>
- Aydın, Ü., Ural, M. & Demireli, E., (2018), Türk bankacılık sektöründe entropi ve waspas yöntemleri ile finansal performans ölçümü, *Uluslararası Katılımlı 22. Finans Sempozyumu Bildiriler Kitabı* 10 -13 Ekim 2018 - Mersin içinde (ss. 1123-1138).
- Babacan, A. (2020). Türkiye'de orta gelir grubuna yönelik otomobil seçimi: çok kriterli karar verme yöntemi olarak VİKOR yöntemi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 293-307.
- Babakan, A. S., Taleai, M., & Alimohammadi, A. (2013). Kentsel bir koridorda toplu taşıma modu seçimi: çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması. *Kentsel-Bölgesel Çalışmalar ve Araştırma Dergisi*, 5(18), 1-6.
- Banister, D. (2005). *Sürdürülemez ulaşım. Yeni yüzyılda şehir içi ulaşım*. Londra: Routledge.
- Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O., & Göçer, F. (2018). Bütünleşik sezgisel bulanık Choquet integral yaklaşımı kullanılarak sürdürülebilir kentsel ulaşım alternatiflerinin seçimi. *Transportation Research Part D*, 58 (Aralık 2017), içinde (pp. 186-207). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.005>
- Cao, W., Zhou, Y., Güneralp, B., Li, X., Zhao, K., & Zhang, H. (2022). Artan küresel kentsel nüfus

- sele maruz kalma: Uzun vadeli yıllık dinamiklerin analizi. *Toplam Çevre Bilimi*, 817, 153012.
- Cuma, M. U., Cengiz, A. H., & Tümay, M. (2016). Çukurova Üniversitesinde kentsel elektrikli araç ulaşımı ve şarj istasyonu uygulama simülasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 343-354.
- Çelikoğlu, S. H. & Hülagü B. (2018). Karayolu ulaştırmasının çevresel etkilerinin azaltılmasında elektrikli araçlar ve Türkiye'deki yeri. *4.Ulusal Karayolu Kongresi ve Sergisi*, Kasım 2018, Ankara, Türkiye.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). 2053 net sıfır emisyon hedefimize giden yol uzun dönemli stratejimizi hazırlıyoruz. <https://iklim.gov.tr/2053-net-sifir-emisyonhedefimize-giden-yolda-uzun-do-nemli-stratejimizi-hazirliyoruz-haber-33> (Erişim Tarihi:12.11.2023)
- Deakin, M., Curwell, S. & Lombardi, P., (2002). Sürdürülebilir kentsel kalkınma: değerlendirme yöntemlerinin çerçevesi ve dizini. *J. Environ. Değerlendirme. PolicyManage.* 4, 171-197.
- Demirci, A. (2020). Nakliye aracı seçimi: çok kriterli karar verme modeli önerisi. *Antalya Bilim Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), 17-33.
- Doğan, E. M., Eren, M., & Çelik, K. (2017). Lojistik sektöründe ağır ticari araç seçimi problemine yönelik Copras - G yöntemi ile karar verme. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(1), 153-178.
- Dündar, A. O. (2021). Türkiye'deki büyükşehirlerin karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon miktarının karşılaştırmalı analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 318-337.
- Genç, C. (2021). *Türkiye'nin Paris iklim anlaşması dâhilindeki yükümlülükleri ve iklim değişikliğinin bu yükümlülükler üzerindeki etkisi*. [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi] İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İskenderun.
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2017). Çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak monoray teknolojisi seçimi. *Sigma Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi Sciences*, 8(4), 303-314. <http://www.eds.yildiz.edu.tr/AjaxTool/GetArticleByPublishedArticleId?PublishedArticle.Id=2547>
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2018). Yüksek kapasiteli elektrikli otobüslerin seçiminde hibrit çok kriterli karar verme uygulaması. *Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, 1-10. (Erişim Tarihi: 22 Kasım 2023). <https://www.researchgate.net/publication/328900427>
- Hamurcu, M., & Eren, T. (2020). Yeşil ulaşım için çok kriterli karar analizi ile elektrikli otobüs seçimi. *Sürdürülebilirlik 12*(7). <https://doi.org/10.3390/su12072777>
- Hamurcu, M., & Eren, T., (2018). Elektrikli otomobil seçimi için analitik hiyerarşi süreci-TOPSIS ve hedef programlamanın hibrit bir yaklaşımı. *The 2018 International Conference of the African Federation of Operational Research Societies (AFROS 2018), 2th-4th July, Tunis, Tunisia*.
- Hamurcu, M. & Eren, T., (2018). Yüksek kapasiteli elektrikli otobüslerin seçiminde hibrit çok kriterli karar verme uygulaması. *Transist 2018 Bildiri Kitabı*, https://www.researchgate.net/publication/328900427_yuksek_kapasiteli_elektrikli_otobuslerin_seciminde_hibrit_cok_kriterli_karar_verme_uygulamasi (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2023).
- Kabak, M., & Uyar, Ö. O. (2013). Lojistik sektöründe ağır ticari araç seçimi problemine çok

- ölçütlü bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 115-125.
- Ömürbek, N., Karaatlı, M., Eren, H., & Şanlı, B. (2014). AHP temelli PROMETHEE sıralama yöntemi ile hafif ticari araç seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), 47-64.
- Önçağ, A.Ç., Üzkat, H., Yeşil, Z.C. & Eliyi U., (2021), Elektrikli otobüsler üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme: İzmir şehir içi saha analizi, *Pamukkale Üniv Muh Bilim Derg*, 27(1), 43-51.
- Patil, A. N., Bhale, N. G. P., Raikar, N., & Prabhakaran, M. (2017). Hibrit bulanık ahp ve gri ilişki analizi yaklaşımı kullanılarak araç seçimi. *International Journal of Performability Engineering*, 13(5), 569-576. <https://doi.org/10.23940/ijpe.17.05.p2.569576>
- Shafabakhsh, G. A., Hadjihoseinlou, M., & Taghizadeh, S. A. (2014). Bulanık karar verme ile Sari Uluslararası Havalimanı'na erişim için uygun toplu taşıma sisteminin seçilmesi. *European Transport Research Review*, 6(3), 277-285. <https://doi.org/10.1007/s12544-013-0128-7>
- Singh, R., & Avikal, S. (2019). Hint otomobil pazarından sedan otomobil seçimi için MCDM tabanlı bir yaklaşım. harmony search and nature inspired optimization algorithms, 741, 569-579. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0761-4>
- Smadi, S. & Hussein, M. (2020). Mena'da elektrikli otobüs. Politika belgesi, Friedrich-ebert-stiftung ve Centre for Transport Excellence (CTE). Kasım 2020, <https://Library.Fes.De/Pdf-Files/Bueros/Amman/17182.Pdf> (Erişim Tarihi: 15.11.2023).
- Süt, N. İ., Hamurcu, M., & Eren, T. (2019). Kampüste yeşil ulaşım uygulaması: ring araçlarının seçimi için bir karar verme süreci. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 9-21.
- Şengül, Ü., Eren, M., & Shiraz, S. E. (2012). Bulanık AHP ile belediyelerin toplu taşıma araç seçimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40(Aralık), 143- 165.
- Topal, O. (2019). Türkiye toplu ulaşım sisteminde elektrikli otobüsler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 155-167.
- Topal, O. (2023). Yerel yönetimlerin elektrikli otobüs alımları için 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu Uygulamaları çerçevesinde örnek bir yaklaşım. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. 2(3), 294-310.
- Tzeng, G. H., Lin, C. W., & Opricovic, S. (2005). Toplu taşıma için alternatif yakıtlı otobüslerin çok kriterli analizi. *Energy Policy*, 33(11), 1373-1383. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.014>.
- Varol S., Öztürk Z. & Öztürk O. (2018). İstanbul'da karayolu yolcu taşımacılığında elektrikli araç kullanımının incelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 367-386.
- World Health Organization, The global health observatory, air pollution data por-tal, Online erişim: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution>. (Erişim Tarihi: 03/11/2023).
- Yalınz, P., Bilgiç, S., Vitosoğlu, Y. & Turan, C., (2011). Kütahya'da kent içi toplu taşıma etkinliğinin değerlendirilmesi. *Proc. Soc. Behav. Sci.* 20, 885-895.
- Yavaş, M., Ersöz, T., Kabak, M., & Ersöz, F. (2014). Otomobil seçimine çok kriterli yaklaşım önerisi - proposal for multi-criteria approach to automobile selection. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 2(4), 110-118.

- Yaykaşlı, M., & Ecemiş, O. (2018). Otomobil satın alma probleminde çok kriterli karar verme yöntemleriyle bir uygulama. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(26), 977-997. <https://doi.org/10.20875/makusobed.500167>.
- Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Saparaukas, J. & Turskis, Z., (2013). ÇKKV yöntemleri WASPAS ve MULTIMOORA: alternatif çözümleri değerlendirirken yöntemlerin sağlamlığının doğrulanması. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 47(2): 1-5
- Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. & Zakarevicius, A., (2012). Ağırlıklandırılmış toplam ürün değerlendirmesinin optimizasyonu. *Elektronik ve Elektrik Mühendisliği*, 122(6): 3-6.
- Zhang, W.G., Lui, Y.J. & Xu, W.J. (2012), İşlem maliyetleri ile çok dönemli portföy seçimi için bir Olasılıkçı ortalama-semivaryans-entropi modeli. *European Journal of Operational Research*, 222(2): 341-349.