



Hem İşletmeci Hem de Kullanıcı Açısından Kent İçi Otobüs Hatlarının Performanslarının Değerlendirilmesi

Evaluation of the Performance of Urban Bus Lines from the Perspective of Both Operators and Users

Tansu Hurşit¹ , Ahmet ATALAY^{1*} 

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 31/10/2023 Kabul/Accepted: 19/01/2024 Çevrimiçi Basım/Published Online: 31/01/2024
Son Versiyon/Final Version: 31/01/2024

Öz

Her gün gelişen ve değişen şehirlerimizde toplu taşımayı cazip hale getirebilmek adına toplu taşıma sistemlerini kullanan ve işleten işletmeciyi göz önünde bulundurarak değerlendirmek gerekmektedir. Bu değerlendirme sürecini ise hem işletmeci hem de kullanıcı bakış açısı dikkate alarak yapılmalıdır. Çünkü kullanıcı varış noktasına en kısa sürede ve en konforlu şekilde ulaşmayı beklerken işletmeci ise zarar etmeme veya belli bir kar elde etme beklentisindedir. Bu çalışmanın amacı hem işletmeci hem kullanıcı bakış açılarıyla toplu taşıma hatlarının performanslarını değerlendirmektir. Erzurum ilinde hizmet veren 40 otobüs hattı için hem kullanıcı hem işletmeci açısından belirlenen 9 kriter (güzergâh uzunluğu, durak sayısı, araç sayısı, sefer sayısı, sefer aralığı, sefer süresi, günde toplam km, hizmet verilen süre, yolcu sayısı) belirlenmiştir. Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi ile birbirleriyle kıyaslanıp kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Ayrıca çalışmada TOPSİS, COPRAS, WASPAS ve MOORA Önem Katsayısı Yaklaşımı olmak üzere dört farklı ÇKKV yöntemi kullanılarak toplu taşıma hatlarının performans sıralamaları hesaplanmıştır. ÇKKV yöntemlerinin çeşitliliği sayesinde hatların performansları hem birbirleriyle hem de yöntemler arasında karşılaştırılmıştır

Anahtar Kelimeler

“Kentiçi ulaşım, kentiçi toplu taşıma, hat performansı, çok kriterli karar verme”

Abstract

In order to make public transportation attractive in our cities that develop and change every day, it is necessary to evaluate the operators who use and operate public transportation systems. This evaluation process should be carried out by taking into account both the operator and user perspectives. Because while the user expects to reach the destination in the shortest time and in the most comfortable way, the operator expects not to make a loss or to make a certain profit. The aim of this study is to evaluate the performance of public transportation lines from both operator and user perspectives. For 40 bus lines serving in Erzurum province, 9 criteria (route length, number of stops, number of vehicles, number of trips, trip interval, trip duration, total km per day, time served, number of passengers) were determined for both the user and the operator. In the study, the criterion weights were calculated by comparing each other with the AHP method, one of the MCDM methods. In addition, in the study, the performance rankings of public transportation lines were calculated using four different MCDM methods: TOPSIS, COPRAS, WASPAS and MOORA Importance Coefficient Approach. Thanks to the diversity of MCDM methods, the performances of the lines were compared both with each other and between the methods.

Key Words

“Urban transportation, urban public transportation, line performance, multi-criteria decision making”

1.Giriş

Kentlerimizde artan nüfus, sanayi, iş imkanları, bireysel araç kullanım ihtiyacının artması beraberinde de trafik sorunlarına, trafikte uzun süre beklemelere bağlı zaman kaybına, enerji kaybına neden olmaktadır. Her geçen gün bu sorunların artması ise insanları alternatif ulaşım sistemlerine itmektir. Nitekim ulaşım sistemlerinin insanların ulaşım sorunlarına cevap verecek nitelikte ve performansta olması gerekmektedir. Kentlerin plansız büyümesi ve bireysel araç kullanımının artışı gibi nedenlerin ulaşım sorunlarına sebebiyet vermesi acil çözülmesi gereken kent sorunlarının başında gelmektedir. Toplu taşımaları daha cazip hale getirmeli bireysel araç kullanımını azaltıcı iyileştirmelerle toplu taşıma kullanımını teşvik edilmelidir. Bireysel araca kıyasla çevreye olumsuz etkileri daha az olan toplu taşıma sistemlerini kullanmada oluşacak artış enerji tasarrufu açısından olumlu bir etki oluşturacaktır. Toplu taşıma sistemlerindeki bu artış da daha çevreci ve sürdürülebilir bir ulaşım sağlayacaktır. Toplu taşımanın daha cazip bir hale gelmesi sadece konfor düzeyini artırarak değil aynı zamanda devamlılığını sağlayarak mümkündür. Bu devamlılık ise hem işletmeci hem de kullanıcı faydasını ortak bir payda da düşünülerek oluşturulan sistemin devamlılığı da kalıcı hale getirecek ve sürdürülebilir olacaktır. Bir sistemin faydalı, etkin, verimli olup olmadığını belirleyebilmek için performansının bilinmesi gerekmektedir. Performans; görev tanımı içerisinde önceden belirlenen kriterleri karşılayacak biçimde, görevin ve amacın gerçekleştirilmesi için ortaya çıkan mal, hizmet ya da düşüncedir (Helvacı 2002). Kent içi ulaşım planlarının ve toplu taşıma sistemlerinin kamu hizmetine yönelik bir çabaları olduğundan belirli bir hedefleri ve bu hedef için belirli bir bütçeleri vardır. Bu hedeflerini belirlenen bütçe dahilinde tutturmayı başarmalıdır. Planlamaların üretkenliği iki kavramla ilişkilidir: Verimlilik ve Etkinlik. Verimlilik, üretim unsurlarından ne derece yararlandığını gösterir. Etkinlik ise hedeflenen amaca ulaşma ölçüsüdür (Top 2001). Kısacası verimlilik “ işi doğru yap”, etkinlik ise “doğru işi yap” olarak özetlenebilir (Yılmaz 2003).

Bir toplu taşıma sisteminin performans ölçümü o sistemin tercih edilmesi ve memnuniyet seviyesinin ölçülmesiyle tespit edilmektedir. Sistem başarısı tercih edilerek ve memnun bırakılarak sağlanır. Bu başarı ve memnuniyet kriterleri ise bakış açısına göre değişiklik göstermektedir. Literatürde kent içi toplu taşıma sistemlerinin performanslarını belirlemek için birçok farklı çalışma yapılmıştır. Carvalho et al. (2015) kent içi toplu taşıma sistemlerinin etkinliklerini ve verimliliklerini tespit edebilmek için Brezilya’da bulunan 21 şehrin toplu taşıma sistemlerine veri zarflama analizi yöntemini uygulamışlardır. Atalay ve Bircik (2022) Erzurum ilinde bulunan 33 otobüs hattının verimliliklerini veri zarflama analizi yöntemi ile irdelemişlerdir. Atalay ve Bircik (2021) hatların hizmet verimliliklerini yapay zeka yöntemlerinden olan kendi kendini düzenleyen haritalama (Self Organizing Map-SOM) ve k-ortalama kümeleme yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. Güner (2016) Sakarya Büyükşehir Belediyesinin işlettiği 30 otobüs hattının hizmet etkinliğini veri zarflama analizini yöntemi uygulanarak tespit etmiştir. Güner (2017) şehir içindeki otobüs hatlarının işletme verimliliklerinin ve hizmet kalitelerinin tespit edebilmesi için AHP ve TOPSIS yöntemleri ile bir model oluşturmuştur. Ertuğrul ve Koç Ustalı (2021) kent içi raylı ulaşım performansını değerlendirmek için değerlendirme kriterlerini SWARA yöntemi ile ağırlıklandırmış, ARAS yöntemi ile de hatların performans değerlerini hesaplamışlardır. Özçelik ve Eren (2019) Kütahya’nın Tavşanlı ilçesinde hizmet veren 5 adet dolmuş hattını AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak hat performansları kıyaslamışlardır.

Çalışmada, kent içi toplu taşıma hatlarının performanslarını önceki çalışmalardan farklı olarak hem kullanıcı hem de işletmeci açısından ayrı ayrı belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Erzurum ilindeki 40 otobüs hattının performanslarının hem işletmeci hem de kullanıcı açısından 9 kriter dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan AHP (Analytical Hierarchy Proses) yöntemi ile kriter ağırlıklandırılmaları yapılmıştır. Hat performansları ise yine ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal), COPRAS (Complex PROportional ASsessment), WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) ve MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) Önem Katsayısı yöntemleri ile hem kullanıcı hem de işletmeci açısından ayrı ayrı hesaplanarak hem yöntemlere göre hatların performansları kıyaslanmış hem de bakış açılarına göre hat performansları kıyaslanıp değerlendirilmiştir.

2.Materyal ve Metod

Bu çalışmanın materyali Erzurum Büyükşehir Belediyesinden elde edilen otobüs hatları verileridir. Bu çalışmanın metodu ise ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSİS, COPRAS, WASPAS, MOORA Önem katsayısı yöntemleri kullanılmıştır.

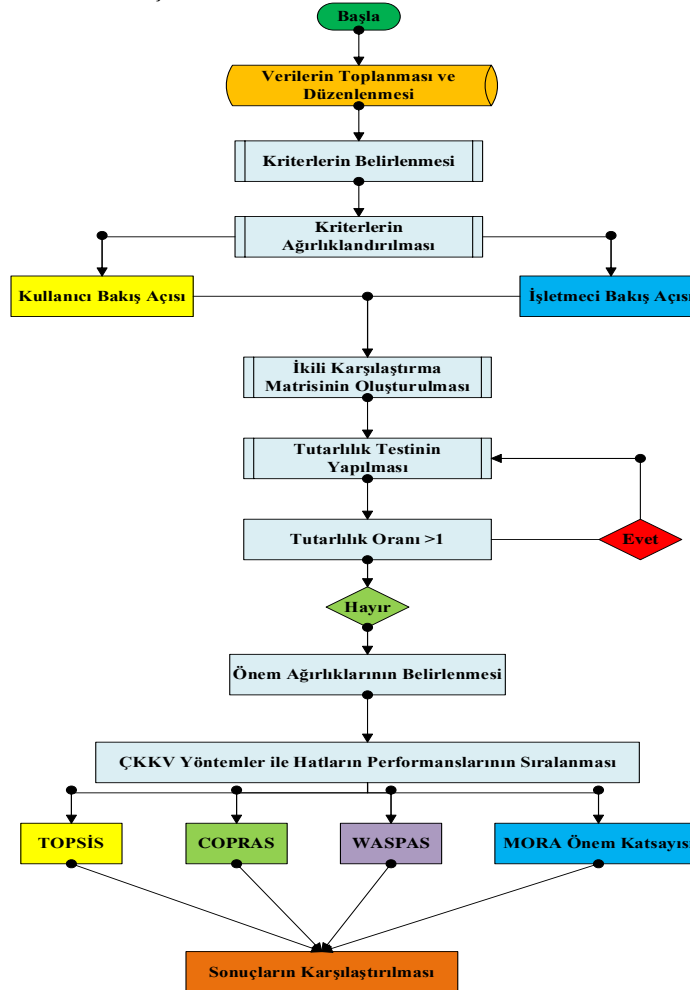
2.1.Materyal

Çalışmanın ana materyalini, Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı ve Erzurum kart mobil uygulamasından temin edilen verilerdir. Elde edilen verilerde 40 otobüs hattının 34 tanesi kent merkezli güzergaha sahip 6 tanesi ise (K11 K12 K13 K14 K15 K16) merkeze bağlı mahallelere giden güzergaha sahip hatlar olduğu görülmektedir. Hat performansının etkinliğini değerlendirmek için Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan bir günlük veriler doğrultusunda 9 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler ; Güzergâh uzunlukları (km), durak sayısı, araç sayısı, sefer sayısı, sefer aralığı (dk), sefer süresi (dk), günde toplam km, hizmet verilen süre (dk), yolcu sayısı (bir günlük ortalama) olarak sıralanmıştır.

2.2. Metod

ÇKKV; birden fazla kriteri aynı anda göz önünde bulundurarak alternatiflere değerler atamaktır (PhuaandMinowa 2005). Çok kriterli karar verme problemlerinin en temel amacı problemle alakalı bütün kriterleri en iyi seviyede tutup beklentiği karşılayarak en iyi alternatifi tespit etmektir (Chatterjee and Chakraborty 2012).

Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSİS, COPRAS, WASPAS, MOORA Önem katsayısı yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın akış diyagramı Şekil 1 de belirtilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın akış diyagramı

2.2.1. AHP yöntemi

Analitik hiyerarşi prosesi Saaty tarafından 1970 yılında geliştirilen bir yöntemdir. AHP'de amaç belirlendikten sonra bu amaca yönelik bu amacı etkileyen kriterler ve bu kriterlere ait eğer varsa alt kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir. Kriterler belirlenirken bu amaç doğrultusunda bilgi sahibi olan uzman kişiler, kurumlar, kuruluşlar, anket çalışmaları ve bilim insanlarının çalışmalarından yararlanılır (Özbek 2017).

AHP yöntemi, takip eden aşağıdaki gibi yedi işlem adımından oluşur:

1. Adım: Problemin tanımlanmasının yapılması ve problem çözümüne uygun kriterlerin seçimi yapılır.

2. Adım: Hiyerarşik yapı oluşturulur, hiyerarşinin en üstünde bulunur. Amaçtan sonra o amaca ulaşmamız ve amacı en iyi etkileyen bütün kriterler belirlenir ve kriterlerin eğer alt kriteri varsa onlar da o kriterin altına yazılır.

3. Adım: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Kriter ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerine göre ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Yöntemde a_{1n} değeri 1. kriterin n. kritere olan önem derecesini gösterir. Yani 1. kriterin n. kritere göre ne oranda tercih edilebileceği gösterilir. a_{11} ve a_{nn} değerleri 1 değerini alırken, a_{n1} değeri ise $1/a_{1n}$ değerini alır.

Seçeneklerin karşılaştırması, her bir kritere göre farklı farklı değerlendirme yapılır. Değerlendirmeler sonucunda ise ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

İkili karşılaştırma yapılırken Saaty tarafından tavsiye edilen 1'den 9'a kadar ölçeklendirilen karşılaştırma ölçeği kullanılır.

4. Adım: İkili karşılaştırma matrislerine normalizasyon yapılması

İkili karşılaştırma matrisleri aşağıdaki Denklem (1) eşitliği kullanılarak her bir elemanı kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

5. Adım: Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması

Normalize matrisin her bir sütun toplamı 1'e eşittir. Normalize matrisin aşağıdaki denklem 2 eşitliği kullanılarak her bir satır toplamı matrisin boyutuna bölünmesi ile kriter ağırlıkları bulunur.

$$W_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

6. Adım: Tutarlılık oranının hesaplanması

İkili karşılaştırma yapılırken kişilerin deneyim, beceri vb. olguları sonucunda verilen değerlendirmeler neticesinde değerlendirmelerin tutarlı olup olmadıkları bulunur. Tutarlılık indeksini hesaplayabilmek için ilk olarak özdeğer olarak adlandırılan λ_{max} değeri hesaplanmalıdır. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlı olması durumunda özdeğer vektörü matrisin boyutuna eşit olmalıdır. Özdeğer vektörü aşağıdaki Denklem (3) eşitliğinden yararlanılarak hesaplanır.

Öz vektör:

$$W_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

Tutarlılık indeksini hesaplamak için ise aşağıdaki Denklem (4) eşitliği uygulanır:

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Tutarlılık indeksini hesapladıktan sonra matrisler için random indeksi tablosundan matristeki n' e karşılık gelen random indeks değeri bulunur.

Tutarlılık oranını bulmak için Denklem(5) eşitliği kullanılır.

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (5)$$

TO, tutarlılık oranı

TI, tutarlılık göstergesi (indeksi)

RI ise rassal indeksi

7. Adım: Kriter ağırlıklarının hesaplanması ve alternatiflerin sıralanması

Kriter ağırlıklandırılmasında uygulanan bu işlem adımları aynı şekilde alternatif sıralanmalarında da uygulanır. Kriterlerin ağırlıkları her bir kriter için mevcut olan alternatiflerin önem ağırlıkları ile matris çarpımı yaparak gerçekleştirilir. Daha sonra karar alternatifleri büyükten başlanarak sıralanır ve en büyük olan alternatif en iyi alternatif olarak kabul edilir (Özbek 2017).

Yapılan çalışmada 9 kriter için Erzurum'da bulunan 40 otobüs hattının alternatif olarak sunulduğu hem işletmeci hem de kullanıcı görüşleri dikkate alınarak otobüs hatları kıyaslanmıştır.

2.2.2. TOPSİS yöntemi

TOPSİS temelinde iki noktadan oluşan bir yöntemdir. Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olarak iki nokta ile ifade edilir. TOPSİS yönteminde, en iyi alternatifler pozitif ideale en yakın ve negatif ideale en uzak olan bir sıralama yapılarak bulunur. (Özbek 2017).

TOPSİS yöntemi, takip eden aşağıdaki gibi altı işlem adımından oluşur:

1. Adım: Karar matrisi Denklem (6) ile oluşturulur.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Burada, i. alternatifteki niteliğin değeridir; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$.

2. Adım: Karar matrisine normalizasyon işleminin uygulanması;

Normalizasyon işlemi farklı yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, Denklem (7) kullanılarak vektör normalizasyonu yapılmıştır.

$$r'_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad (7)$$

3. Adım: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisini hesaplanması.

Kriterlerin ağırlıkları (w_j) çeşitli kriter ağırlıklandırma yöntemleri ile belirlenmiştir. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi Denklem (8) ile hesaplanır.

$$v_{ij} = w_j * r'_{ij} \quad (8)$$

4. Adım: A^+ ve A^- nin hesaplanması.

$$A^+ = \left\{ \left(\max_i v_{ij} | j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} | j \in J' \right) | i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (9)$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (10)$$

5. Adım: Ayrım kriterlerinin hesaplanması.

TOPSİS'teki her karar seçeneği için, iki ayırma ölçüsü vardır. Pozitif ideal ayırma ve negatif ideal ayırma. Öklid uzaklığı yaklaşım ayırma kriterlerini hesaplamak için kullanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (11)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (12)$$

6. Adım: Denklem (13) ile her alternatifin göreceli yakınlığını (RC) hesaplayın.

$$RC_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (13)$$

RC değeri, alternatiflerin göreceli üstünlüğünü yansıtır. Daha büyük RC i alternatifinin nispeten daha iyi olduğunu, daha küçük RC ise bu alternatifin nispeten daha kötü gösterir.

2.2.3. COPRAS yöntemi

COPRAS yöntemi kriterlerin önem ve fayda dereceleri açısından alternatifleri sıralamaktadır. Kriterlerin önem değerlendirmesine göre fayda kriterlerini üst seviyeye çıkarma fayda derecesi az olan kriterleri ise alt seviyeye indirme şeklinde değerlendirme imkânı sağlar (Podvesko 2011).

COPRAS yöntemi, takip eden aşağıdaki gibi yedi işlem adımından oluşur: işlem adımları aşağıda verilmektedir.

$A_i = i$. Alternatif $i = 1, 2, \dots, m$

$C_j = j$. değerlendirme kriteri $j = 1, 2, \dots, n$

$W_j = j$. değerlendirme kriteri önem seviyesi $j = 1, 2, \dots, n$

$X_{ij} = j$. Değerlendirme kriteri açısından i . alternatifin değerini gösterir.

1. Adım: Karar matrisi Denklem (14) ile oluşturulur.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

2. Adım: Karar matrisinin normalize edilmesi

Karar matrisi eşitlik (15) yardımıyla normalize edilir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

3. Adım: Karar matrisinin ağırlıklandırılması

İkinci adımda normalize edilmiş karar matrisinin sütunlarının kriterlere verilen w_j ağırlık değerleri ile çarpılması sonucunda tespit edilir ve eşitlik (16)'daki denklem yardımıyla bulunur.

$$D' = d_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j \quad (16)$$

4. Adım: Faydalı ve faydasız ölçütlerin hesaplanması

Faydalı ölçütler beklenenin gerçekleşmesi için daha büyük değerlerin daha iyi olduğu durumları ifade ederken faydasız ölçütler ise beklenenin gerçekleşmesi için daha küçük değerlerin daha iyi olduğu durumları ifade eder.

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, k \quad \text{faydalı ölçütler} \quad (17)$$

$$S_i^- = \sum_{j=k+1}^n d_{ij} \quad j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad \text{faydasız ölçütler} \quad (18)$$

5. Adım: Göreceli önem değerinin tespit edilmesi

Her bir alternatif için göreceli önem değeri ve eşitlik (19) yardımıyla tespit edilir. En büyük değeri alan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

$$Q_i = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_i^-}} \quad (19)$$

6. Adım: En büyük göreceli önem değerinin tespit edilmesi

En büyük göreceli önem değeri ise (20) numaralı eşitlik ile tespit edilmektedir.

$$Q_{max} = \text{en büyük } \{Q_i\} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

7. Adım: Alternatifler için P_i değerlerinin hesaplanması her bir alternatif için eşitlik (21) yardımıyla hesaplanır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \cdot 100\% \quad (21)$$

Alternatiflerin sıralaması P_i değerlerinin sıralamaları ise büyükten başlanıp küçük değere doğru yapılır.

2.2.4. WASPAS yöntemi

WASPAS ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı çarpım modeli olmak üzere iki farklı modelin sonuçlarını birbirine entegre edildiği bir yöntemdir. Sonuçlarının birleşimiyle hesaplanan optimallik kriterinin değerine göre alternatifler sıralanır. Bu yöntem ayrıca duyarlılık analizini kendi içinde yaparak alternatiflerin sıralamalarının tutarlılığını kontrol etme imkanı da sunmaktadır (Chakraborty ve Zavadskas 2014).

WASPAS yöntemi, takip eden aşağıdaki gibi beş işlem adımından oluşur:

1. Adım: Başlangıç karar matrisinin oluşturulması

Başlangıç karar matrisi eşitlik (22) yardımıyla hesaplanır.

$$[X] = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (22)$$

x_{ij} $i=1,2, \dots, m, j=1,2, \dots, n$ olarak simgelenir.

2. Adım: Normalizasyon işleminin karar matrisine uygulanması

Maliyet normalizasyonu, eşitlik (23) yardımıyla hesaplanır.

$$x_{ij}^* = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (23)$$

Fayda normalizasyonu, eşitlik (24) yardımıyla hesaplanır.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (24)$$

3. Adım: Ağırlıklı toplam modeline göre performans hesaplaması

Ağırlıklı toplam modeline göre seçeneklerin performansı her kritere göre ağırlıklandırılmış seçenek değerlerinin toplamı olacak şekilde bulunmuştur. Bu durum eşitlik (25) yardımıyla hesaplanır.

$$P_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n x_{ij}^* \times w_j \quad (25)$$

4. Adım: Ağırlıklı çarpım modeline göre performans hesaplaması

Ağırlıklı çarpım modeline göre performansı, her bir kriter için seçenek değerinin aynı indisle kriter ağırlığı ile çarpımı alınarak tespit edilir. Bu durum eşitlik (26) yardımıyla hesaplanır.

$$P_i^{(2)} = \prod_{j=1}^m (x_{ij}^*)^{w_j} \quad (26)$$

5. Adım: Seçeneklerin genel performansı hesaplanması

Seçeneklerin genel performans sıralamaları (P_i), Eşitlik (25) ve (26) 'ya göre hesaplanan görel performanslarını toplanmasıyla bulunur.

Eşitlik (27) yardımıyla hesaplanır.

$$P_i = \alpha P_i^{(1)} + (1 - \alpha) P_i^{(2)} \quad (27)$$

Eşitlik (27) deki α , $0 < \alpha < 1$ arasındadır. Sıralama doğruluğunu etkinliğini ve artırmak için kullanılabilir.

WASPAS yönteminde $\alpha = 0$ ise ağırlık toplam modeline eğer $\alpha = 1$ ise ağırlıklı çarpım modeline dönüşür. α genellikle 0,5 alınır.

Seçeneklerin sıralanması ise P_i nihai performansı büyükten başlanarak sıralanır. İlk sıradaki alternatif en iyi, son sıradaki alternatif ise en kötü alternatif olarak tespit edilir.

2.2.5. MOORA önem katsayısı

Gerçek hayatta çok nadir problemlerde kriter ağırlıkları karar verici için eşit öneme sahiptir. Bu yöntemde MOORA -Oran yöntemiyle elde edilen normalize veriler kullanılmaktadır. Seçeneklerin performans değerleri ise eşitlik (28)'e göre hesaplanır.

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j x_{ij}^* \quad (28)$$

Seçeneklerin sıralaması ise y_i^* değerlerini büyükten küçüğe göre sıralayarak yapılır. Birinci sıradaki seçenek en ideal seçenek olarak tespit edilir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. AHP Yöntemi Çözümleri

Toplu taşıma hatlarının performansını etkileyen faktörler uzman kişilerin görüşleri dikkate alınarak ve daha önceden yapılan çalışmalar değerlendirilerek 9 tane ana kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler kullanıcılar tarafından hem kullanıcı hem de işletmeci bakış açısı ile ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Kullanıcı bakış açısına göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisini tutarlılık indeksi 0,092 olarak bulunmuştur. İşletmeci bakış açısına göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisini tutarlılık indeksi 0,095 olarak bulunmuştur. Hem kullanıcı hem de işletmeci bakış açısına göre tutarlılık indeksleri 0.1'den küçük elde edilmiştir. Bu durum ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlı olduğu göstermektedir.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen kriterlerin önem ağırlıkları ise Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanıcı ve işletmeci bakış açısına göre kriterlerin önem ağırlıkları

Kriterler	Kullanıcı Açısından Önem Katsayıları	İşletmeci Açısından Önem Katsayıları
Güzergâh uzunluğu	0,02531	0,01801
Durak sayısı	0,05455	0,02634
Araç sayısı	0,20629	0,14014
Sefer sayısı	0,16241	0,24943
Sefer aralığı	0,30228	0,03734
Sefer süresi	0,11022	0,07386
Günde toplam km	0,03562	0,05067
Hizmet verme süresi	0,08724	0,08615
Yolcu sayısı	0,01607	0,31806

Kullanıcı bakış açısına göre belirlenen kriterlerin önem ağırlıkları incelendiğinde kullanıcılar açısından en önemli kriterin sefer aralığı olduğu görülmektedir. İşletmeci bakış açısına göre belirlenen kriterlerin önem ağırlıkları incelendiğinde işletmeciler açısından en önemli kriterin yolcu sayısı olduğu görülmektedir.

Özçelik ve Eren (2019) yaptıkları toplu taşıma hizmetinin değerlendirilmesi çalışmasında şehir kullanımı, yolcu memnuniyeti ve ulaşım kriterlerini kullanmışlardır. AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları sıralaması ulaşım, yolcu memnuniyeti, şehir kullanımı olarak tespit edilmiştir. Ulaşım kriteri en önemli ana kriter olurken en önemli alt kriteri ise yolculuk süresi olarak belirlenmiştir. Ayrıca yolcu memnuniyeti ana kriterinin alt kriterleri arasında ise en önemli alt kriter araç kapasitesi ve şehir kullanımı ana kriterinin alt kriterlerinden de en önemlisi yolların durumu olarak belirlenmiştir. Karşlı (2019) yaptığı çalışmada kullanıcılar için ücret tarifelerinden sonra en önemli kriterin sefer süresi olduğunu belirtmiştir. Çavuşoğlu (2023) yaptığı çalışmada kullanıcı için en önemli kriterin sefer süresi ve hat gecikmesi kriteri işletmeci için yolcu sayısı kriteri olduğunu belirlemiştir.

3.2 TOPSİS, WASPAS, COPRAS, MOORA Önem Katsayısı Yöntemleri Sonuçları

AHP yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak 40 otobüs hattının performans sıralaması yapılmıştır. Hem kullanıcı hem işletmeci bakış açısına göre hesaplanan hat performans sıralamaları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. ÇKKV yöntemlerine göre hem işletmeci hem de kullanıcı bakış açısıyla otobüs hatlarının performans sıralaması

HATLAR	Kullanıcı Bakış Açısıyla				İşletmeci Bakış Açısıyla			
	TOPSİS	COPRAS	WASPAS	MOORA	TOPSİS	COPRAS	WASPAS	MOORA
B1	5	8	4	6	4	23	5	4
B2	3	4	3	3	7	29	7	11
B2/A	24	17	14	20	30	5	33	29
B3	2	3	2	2	2	28	4	3
B4	32	33	37	33	36	33	38	37
B5	33	32	36	32	31	32	35	32
B7	10	20	7	11	5	22	9	5
B8	23	11	16	25	40	8	36	31
D1	25	21	17	21	19	6	14	14
D2	28	24	24	24	20	2	13	13
G1	4	5	6	4	8	27	11	10
G2	29	30	30	30	26	12	31	27
G3	20	23	23	19	23	16	21	21
G4	6	19	12	9	6	30	15	18
G4/A	19	29	29	29	18	26	28	30
G5	7	2	5	5	10	18	6	8
G6	12	12	15	13	22	17	19	20
G7	16	14	19	16	28	10	24	24
G7/A	9	7	9	7	13	21	18	19
G8	30	26	25	23	12	4	3	6
G9	1	1	1	1	1	31	1	1
G10	13	18	18	17	24	11	22	23
G11	31	31	28	31	17	19	10	12
G12	35	37	33	37	34	37	32	36
K1	22	10	13	12	16	3	12	9
K2	8	9	10	8	3	25	8	2
K3	14	13	21	14	25	9	23	22
K4	18	22	22	18	14	15	17	15
K6	17	16	20	16	29	13	26	26
K7	21	28	31	28	11	24	25	25
K7/A	15	27	26	27	9	20	20	16
K8	26	25	27	26	27	14	27	28
K9	27	15	11	22	15	1	2	7
K10	11	6	8	10	21	7	16	17
K11	34	35	32	35	33	35	30	34
K12	37	36	35	36	35	36	34	35

Tablo 2. (Devam) ÇKKV yöntemlerine göre hem işletmeci hem de kullanıcı bakış açısıyla otobüs hatlarının performans sıralaması

HATLAR	Kullanıcı Bakış Açısıyla				İşletmeci Bakış Açısıyla			
	TOPSİS	COPRAS	WASPAS	MOORA	TOPSİS	COPRAS	WASPAS	MOORA
K13	36	34	34	34	32	34	29	33
K14	39	38	39	38	37	38	37	38
K15	38	39	40	39	38	39	39	39
K16	40	40	38	40	39	40	40	40

Kullanıcı bakış açısına göre ÇKKV yöntemlerinin hepsinde performansı en iyi olan G9 hattı belirlenmiştir. Performansı en kötü çıkan ise WASPAS yönteminde K15 hattı diğer yöntemlerde ise K16 hattı belirlenmiştir. İşletmeci bakış açısına göre ÇKKV yöntemlerinde performansı en iyi olan otobüs hattı COPRAS hariç G9 hattı belirlenmiştir. COPRAS yönteminde ise performansı en iyi K9 hattı belirlenmiştir. TOPSİS hariç diğer yöntemlere göre performansı en kötü olan hat ise K16 hattı olduğu belirlenmiştir. TOPSİS yöntemine göre performansı en kötü olan B8 hattı olduğu tespit edilmiştir.

4.Sonuçlar

Bu çalışmada Erzurum'da hizmet veren 40 otobüs hattı performansı hem işletmeci hem de kullanıcı açısından ÇKKV yöntemleriyle performansı değerlendirilmiştir. Değerlendirme kriterleri AHP yöntemiyle önem katsayıları belirlenmiştir. Kullanıcı bakış açısına göre oluşturulan ikili matrisin tutarlılık indeksi 0,092, işletmeci bakış açısıyla oluşturulan ikili matrisin tutarlılık indeksi de 0,095 elde edilmiştir. Kullanıcı bakış açısına göre en önemli kriter sefer aralığı olduğu belirlenirken, işletmeci bakış açısına göre en önemli kriter ise yolcu sayısı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre; kullanıcılar otobüslerin sık gelmelerini en öncelikli beklerken, işletmeci ise yolcu sayısının çok olmasını dolayısıyla belirli bir kar elde etme beklentisi içerisinde.

Hatların performansları ise ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSİS, COPRAS, WASPAS ve MOORA-Önem Katsayısı yöntemleriyle ayrı ayrı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Genel olarak hem kullanıcı hem de işletmeci bakış açısına göre performansı en iyi G9 otobüs hattı, performansı en kötü olarak ise K16 otobüs hattı olduğu belirlenmiştir. Kullanıcı açısından sefer aralıklarının sık olması, işletmeci açısından yolcu sayısının çok olması hem kullanıcıyı hem de işletmeciye ortak bir paydada buluşturuyor olması G9 otobüs hattını genel olarak ÇKKV yöntemlerinde birinci sırada tespit edilmiştir. K11-K12-K13-K14-K15-K16 otobüs hatları merkeze bağlı civar mahallerle giden bir güzergaha sahiptir. Bundan dolayı bu hatların performansları ÇKKV yöntemlerinin genelinde alt sıralarda olup performansları diğer hatlara göre kötü çıkmıştır. Bu hatların belli saat aralıklarla otobüs çıkarması kullanıcıyı memnun etmemektedir. Ayrıca bu hatlarda yolcu sayısının az olması ise işletmeci memnun etmemektedir.

G12 otobüs hattını performansının diğer hatlara göre kötü çıkmasının araştırılması sonucunda güzergâh uzunluğunun diğer hatlara göre nispeten uzun, sefer aralığının ve sefer süresinin büyük olması aynı zamanda yolcu sayısının azlığı hem işletmeciye hem de kullanıcıyı memnun etmemiştir. Bu hat için güzergâh iyileştirilmeleri sefer aralığı, süresi düzenlemeleri yapılarak hem kullanıcı hem de işletmeci açısından daha işlevsel ve sürdürülebilir hale getirilebilir. B4 ve B8 otobüs hatlarının performanslarının diğer otobüs hatlarına göre kötü çıkması ise ortalamaya göre az ve değişen yolcu sayılarının olması, araç sayısının az olması ve buna bağlı olarak sefer aralığının çok olması veya sefer sayılarını az olabilir. Ayrıca hizmet verme sürelerinin 840 dk olması yani diğer otobüs hatlarına göre az olması performans sıralamalarına etki etmiştir. Bu hatlar için hizmet verme süreleri yolcu sayısına bağlı olarak arttırarak ve araç sayısını arttırarak veya sefer aralıklarında iyileştirmeler yaparak hem kullanıcı hem de işletmeci açısından daha işlevsel ve sürdürülebilir hale getirilebilir.

Toplu taşıma hatlarının duraklarda indi bindi yolcu sayı verileri tespit edilebilirse toplu taşıma hatlarının performanslarının belirlenmesi ve hat güzergâhlarının verimlilikleri daha hassas tespit edilebilir. Akıllı ulaşım sistemleri teknolojileri kullanılarak toplu taşıma duraklarında yolcu indi bindi sayıları tespit edilebilir.

Teşekkür: "Bu çalışmada kullanılan toplu taşıma verileri için Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığına teşekkür ederiz."

5.Kaynakça

Atalay, A., Biricik, Ö.F. (2021). Determination of Operational Efficiency in Urban Public Transport Lines, Civil Engineering Beyond Limits, (1), 16-20. <https://doi.org/10.36937/cebel.2021.001.004>.

- Atalay, A., Bircik, Ö. F. (2022). Determining the Effectiveness of the Bus Lines in Urban Transportation using Data Envelopment Analysis. *Journal of Transportation and Logistics*, 7(1), 37-54. <https://doi.org/10.26650/JTL.2022.1011652>.
- Carvalho, M., Syguiy, T., Silva, D. N. (2015). Efficiency and Effectiveness Analysis of Public Transport of Brazilian Cities. *The Journal of Transport Literature*, 9(3),40-44.
- Chakraborty, S., Zavadskas, E. K. (2014). Applications of WASPAS method in manufacturing decision making. *Informatica*, 25(1), 1-20.
- Chatterjee, P. and Chakraborty, S. (2012). Material Selection Using Preferential Ranking Methods. *Materials and Designs*, 35, 384-393.
- Çavuşoğlu, A. (2023). Kent İçi Minibüs Hatlarının Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Belirlenmesi: Erzurum İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Erturgut, R., Koç Ustalı, N. (2021). Kent İçi Raylı Ulaşım Performansını Değerlendirmede SWARA ve ARAS Yöntemleri İle Bir Model Önerisi. *Verimlilik Dergisi*, 3, 35-53. DOI: 10.51551/verimlilik.762067.
- Güner, S. (2016). Şehir içi otobüs hatlarına ilişkin hizmet etkinliği analizi: Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs işletmesi uygulaması. 9. TRANSİST İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, Bildiriler Kitabı,8-14, İstanbul.
- Güner, S. (2017). Operational efficiency and service quality analysis in public transportation systems. *Journal of Transportation and Logistics*, 2 (2), 33-48. <https://doi.org/10.22532/jtl.358727>
- Hamurcu, M. ve Eren,T. (2018). Kentsel Ulaşımın Geliştirilmesi İçin Moora Yöntemi Kullanılarak Çok Amaçlı Optimizasyon. TRANSİST 2018 Bildiri Kitabı,21-30.
- Helvacı, M.A. (2002). Performans Yönetimi Sürecinde Performans Değerlendirmenin Önemi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 35(1-2),155-169.
- Karslı, B. (2019). Sürdürülebilir Bir Toplu Taşıma Sistemi İçin Sakarya Büyükşehir Belediyesine Ait Belediye Otobüslerinin Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Nar, M. (2022).Yenikapı M1 – Kirazlı M1 Hattı İçin İstasyon ve Hat Bazlı Yolcu Talep Tahmini ve Raylı Ulaşım Sistemlerinde Sefer Sıklığı Belirlemede Kritik Başarı Faktörlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Önceliklendirilmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özarpa, C., Kınacı, B.F. Avcı, İ. (2021). Kent İçi Akıllı Ulaşımında Karma Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Yeni Hat Kurulumunun Belirlenmesi. *Kent Akademisi*, 14(4), 995-1006. <https://doi.org/10.35674/kent.977741>
- Özbek, A. (2017).Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü, Aşır Özbek. Seçkin Akademi ve Mesleki Yayınlar, Ankara.
- Özçelik, İ.C. ve Eren, T. (2019). Kütahya-Tavşanlı Dolmuş Hattının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(3),97-111.
- Özdemir, S.,Özcan, E.C. (2020). AHP COPRAS ve Tamsayı Programlama Entegrasyonu ile Demiryolu Araçlarında Bakım Planlaması. *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, 12, 1-12.
- Phua M.H. & Minowa M. (2005). A GIS-Based Multi-Criteria Decision Making Approach To Forest Conservation Planning At A Landscape Scale: A Case Study In The Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape and Urban Planning*, 71,207-222.
- Podvezko, V. (2011). The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 22(2), 134-146.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, New York.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic Foundations of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32(7), 841-855.
- Top, A. (2001). *Analiz Planlama ve Üretim Kontrolü*. Alfa Basım-Yayım 3.Basım,İstanbul.

Yılmaz, E. (2003). Kentiçi Otobüs Taşımacılığında Hat Planlanması ve Simülasyonla Bir Çözüm Önerisi. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.