

Operational Efficiency and Service Quality Analysis in Public Transportation Systems

Samet Güner | Department of Business, Sakarya Business School, Sakarya University, Turkey, sguner@sakarya.edu.tr

Keywords:

AHP
Operational
Efficiency
Bus Routes
Service Quality
TOPSIS
DEA

ABSTRACT

The performance of public transportation systems can be assessed both from the operators and the users. Operators are focused on the efficiency and profitability of the system, while the users pay attention to the quality of service provided. Focusing on one of these aspects while ignoring the other prevents the decision makers from analyzing the performance of the system properly. In this study, it is aimed to evaluate the performance of bus transit routes from both operator and user perspective. Operational efficiency, reflecting the operator's point of view, is measured by Data Envelopment Analysis. Quality of service that reflects the user's point of view is measured by a two-stage approach consisting of Analytic Hierarchy Process and TOPSIS. Thus, the operational efficiency and service quality scores of each bus transit route are obtained. Using these scores, performance improvement suggestions for bus transit routes were presented.

Toplu Ulaşım Sistemlerinde Operasyonel Etkinlik ve Hizmet Kalitesi Analizi

Anahtar Sözcükler :

AHP
Operasyonel
Etkinlik
Otobüs Hattı
Hizmet Kalitesi
TOPSIS
VZA

ÖZ

Toplu ulaşım sistemlerinin performansı hem işletmeciler hem de kullanıcılar açısından değerlendirilebilir. İşletmeciler, sistemin verimliliğine ve kârlılığına odaklanırken, kullanıcılar ise kendilerine sunulan hizmetin kalitesine dikkat etmektedir. Bu boyutlardan birine odaklanırken diğerini göz ardı etmek, sistemin performansını doğru bir şekilde analiz etmeyi engellemektedir. Bu çalışmada, otobüs hatlarının performansının hem işletmeci hem de kullanıcı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İşletmecinin bakış açısını yansıtan operasyonel etkinlik, Veri Zarflama Analizi ile ölçülmüştür. Kullanıcının bakış açısını yansıtan hizmet kalitesi ise Analitik Hiyerarşi Prosesi ve TOPSIS'ten oluşan iki aşamalı bir yaklaşım ile ölçülmüştür. Böylelikle her bir otobüs hattının operasyonel etkinlik ve hizmet kalitesi skoru elde edilmiştir. Bu skorlar kullanılarak otobüs hatlarına ilişkin performans iyileştirme önerileri sunulmuştur.

1. Introduction

Şehir içi toplu taşıma sistemlerinin performansı, toplumun pek çok kesimini yakından ilgilendirmektedir. Şehir içi ulaşım hizmetlerinin bir ücret karşılığında yapılması, sunulan hizmet karşılığında bir gelir elde edilmesi ve bu hizmetlerin sunulabilmesi için büyük altyapı ve üstyapı yatırımları yapılması gerekliliği, sistemin ekonomik boyutunu göstermektedir. Bu açıdan ele alındığında, sistemin ekonomik sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Diğer yandan toplu taşımacılık hizmetleri sosyal bir ihtiyacı karşılayarak toplum içinde "eşitlik" sağlamaktadır. Şehir içi ulaşım sistemleri, şahsi otomobili olmayan ve gelir seviyesi düşük şehir halkının yanı sıra yaşlıların, çocukların, engellilerin ve şahsi aracıyla hareket imkânı olmayan diğer vatandaşların taşımacılık ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu nedenle, şehir içi yolcu taşımacılığı sistemlerinin üretkenlik boyutu sadece ekonomik katkısı ile değil, sosyal katkısı ile de değerlendirilmelidir (Güner, 2014).

Şehir içi taşıma sisteminin paydaşları, sistemin performansını kendileri açısından değerlendirme eğilimindedir. İşletmeciler, sistemin ekonomik anlamda sürdürülebilir ve kârlı olmasını arzu etmektedir. Her ne kadar kâr motivasyonu kamu tarafından işletilen sistemlerde daha düşük olsa da, yapılan yatırımların geri dönmesi sistemin devamlılığı için büyük önem taşımaktadır. Diğer yandan kullanıcılar ise toplu taşıma sisteminin uygun maliyetli, güvenli ve yüksek kaliteli olmasını talep etmektedir. Kullanıcıların yüksek kalite ve uygun maliyet beklentisi, işletmelerin ekonomik sürdürülebilirlik kaygısıyla ters düşmektedir. Görüleceği gibi tarafların performans ölçütleri ve beklentileri birbiriyle çelişmektedir.

Şehir içi toplu taşıma hizmetlerinin son yıllarda ağırlıklı olarak kamu tarafından sunulması, hizmetin sosyal boyutunu daha fazla ön plana çıkarmaya başlamıştır. Ancak toplu taşıma sistemlerinin sosyal çıktılarına sıkça vurgu yapılması, sistemin ekonomik boyutunun önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Nitekim günümüzde şehir içi ulaşım sistemleri büyük ölçüde yerel yönetimler tarafından sübvansede edilmektedir. Toplu taşıma sisteminin verimsiz bir şekilde çalışması ilerleyen dönemde hizmet seviyesinin düşmesine neden olacak ve ekonomik açıdan sürdürülebilir olmayan bu sistemin sübvansede edilebilmesi için vergilerin ve taşıma ücretlerinin artmasına yol açacaktır (Barnum vd, 2007). Ayrıca, ekonomik verimsizlikler bazı hatların kapanmasına veya hizmet seviyesinin düşmesine neden olabilir. Böylelikle, daha sağlıklı bir performans analizi yapabilmek için, şehir içi ulaşım sistemlerinin sosyal ve ekonomik performansının birlikte değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü ile şehir merkezi arasında faaliyet gösteren on adet otobüs hattının performansı, hizmet kalitesi ve operasyonel etkinlik açısından analiz edilmiştir. Böylelikle hem işletmecilerin ve hem de kullanıcıların bakış açıları dikkate alınarak daha kapsamlı bir performans analizi yapılması hedeflenmiştir. Hizmet kalitesini ölçmek için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS'den oluşan iki aşamalı bir yöntem kullanılmıştır. Operasyonel etkinliği ölçmek için ise Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılmıştır. Analizler sonucunda, operasyonel etkinliğin hizmet kalitesini iyileştirmede nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.



Araştırma şu şekilde organize edilmiştir. Hizmet kalitesini ve operasyonel etkinliği ölçmek amacıyla kullanılan AHP, TOPSIS ve VZA teknikleri ikinci bölümde incelenmiştir. Otobüs hatlarına ilişkin hizmet kalitesi ve operasyonel etkinlik analizleri üçüncü bölümde yapılmıştır. Dördüncü bölümde analiz sonuçlarının nasıl kullanılabileceği açıklanarak karar vericilere yönelik yönetsel öneriler sunulmuştur. Sonuç bölümünde ise çalışmanın bulguları özetlenmiş ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri

Çok kriterli karar verme teknikleri, birçok farklı kriterin dikkate alınması gereken performans değerlendirme süreçlerinde, çeşitli alternatifler içerisinde en ideal olanını belirlemek amacıyla karar verme sürecine destek olmak için geliştirilmiş matematiksel araçlardır. Literatürde çeşitli çok kriterli karar verme teknikleri bulunmakla beraber, bu çalışmada AHP, TOPSIS ve VZA tanıtılacaktır.

2.1. AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Saaty (1980) tarafından geliştirilmiş çok kriterli bir karar verme tekniğidir. AHP sürecinin ilk aşaması, kriterlerin ikili karşılaştırmasıdır. Bu karşılaştırmada 1'den 9'a kadar olan değerler kullanılmaktadır. 1, iki kriterin eşit derecede önemli olduğunu belirtirken; 3, kriterin diğer kriterle kıyasla "orta derecede önemli" olduğunu; 5, "kuvvetli derecede önemli" olduğunu; 7, "çok kuvvetli derecede önemli" olduğunu ve 9 ise "mutlak derecede önemli" olduğunu ifade etmektedir. 2, 4, 6 ve 8 ise ara değerleri göstermektedir.

Elde edilen ikili karşılaştırma değerleri kullanılarak, n kriter sayısını göstermek üzere, $n \times n$ boyutlu bir karşılaştırma matrisi (A) oluşturulur. a_{ij} , i satır sayısını ve j sütun sayısını göstermek üzere, i . kriter ile j . kriterin karşılaştırma değerini ifade etmektedir. Örnek bir karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Karşılaştırma matrisindeki değerlerin kendi aralarında karşılaştırılabilmesini sağlamak için bu değerlerin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalize edilmiş karşılaştırma matrisinin (B) oluşturulabilmesi için, A matrisinin her bir elemanı, sütun toplamına bölünmelidir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Kriterlerin göreceli önem dereceleri veya ağırlıkları (w_i), B matrisinin her bir satırının ortalaması alınarak hesaplanır. Bunun için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Son olarak, elde edilen sonucun tutarlılığını ölçmek amacıyla tutarlılık analizi yapılmalıdır. Tutarlılık oranını belirlemek için şu formül kullanılır:



$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Bu formülde CR tutarlılık oranını, CI tutarlılık indeksini, RI ise rassal indeksi göstermektedir. Formüldeki CI aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

λ_{max} en yüksek öz değeri gösterirken, n ise kriter sayısını ifade etmektedir. Diğer yandan RI ise kriter sayısına bağlı bir değer olup Saaty (1980) çalışmasından temin edilebilir. CR değerinin 0'a eşit olması, tutarlılığın mükemmel olduğunu göstermektedir. Ancak uygulamada mükemmel tutarlılık elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Genel kabul görmüş bir kural olarak, CR oranının %10 veya daha az olması beklenmektedir.

2.2. TOPSIS

İlk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), farklı alternatifler içerisinde ideal noktaya en yakın ve negatif-ideal noktaya en uzak seçeneği seçmeye yardımcı olan çok kriterli bir karar verme tekniğidir. TOPSIS sürecinin ilk aşaması, alternatiflerin belirlenmesi ve karar matrisinin oluşturulmasıdır. m alternatif sayısını, n ise kriter sayısını göstermek üzere, karar matrisi A aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Karar matrisindeki değerlerin kendi aralarında karşılaştırılabilmesini sağlamak için bir normalizasyon sürecinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Normalize edilmiş matristeki değerler, AHP sürecinde elde edilen kriter ağırlıkları (w_i) ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir (v_{ij}).

$$v_{ij} = w_i \times b_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Ağırlıklandırılmış normalize matris esas alınarak, her bir kriter için ideal ve negatif-ideal değerler belirlenir. Daha sonra, her bir alternatifin ideal ve negatif-ideal değerlere uzaklıkları hesaplanır. En iyi alternatif, ideal değere en yakın, negatif-ideal değere en uzak olmalıdır (Hwang ve Yoon, 1981). Alternatiflerin ideal (D_i^+) ve negatif-ideal (D_i^-) değerlere uzaklıklarını hesaplamak için sırasıyla aşağıdaki formüller kullanılır.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$



$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Son olarak, her bir alternatifin yakınlık indeksini (C_i^*) hesaplamak amacıyla aşağıdaki formül kullanılır. Böylelikle TOPSIS süreci tamamlanmış olmaktadır.

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

2.3. VZA

Benzer girdi ve çıktılara sahip karar birimlerinin etkinliklerini karşılaştırmalı olarak ölçmek amacıyla kullanılan veri zarflama analizi, ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından geliştirilmiştir. VZA, karşılaştırmalı etkinlik analizinde birden fazla girdiyi ve çıktıyı birlikte değerlendirmeye imkân vermektedir. Bu yöntemde, gözlem seti içerisinde görece etkin olan karar birimleri yüzde yüz etkinliği gösteren 1, görece etkin olmayanlar ise 0 ile 1 arasında değişen skorlar almaktadır (Güner, 2016).

Charnes, Cooper ve Rhodes (1978), geliştirdikleri VZA modelinde ölçeğe sabit getiri (constant returns to scale, CRS) olduğunu varsaymışlardır. Ölçeğe sabit getiri, üretim sürecinde kullanılan girdilerin ne oranda arttırılırsa çıktılarının da aynı oranda artacağı varsayımına dayanmaktadır. Örnek vermek gerekirse, CRS, girdi karmasının %10 artırılması durumunda çıktı karmasının da aynı oranda, yani %10 oranında artacağını varsaymaktadır. Böylece CRS, karar birimlerinin hem teknik etkinliğini hem de ölçek etkinliğini birlikte değerlendirmektedir. Ancak, uygulamada birçok durumda ölçeğe getirinin değişken olduğu varsayımıyla, Banker, Charnes ve Cooper (1984) tarafından ölçeğe değişken getirili VZA (variable returns to scale, VRS) geliştirilmiştir. VRS, karar değişkenlerinin ölçek büyüklüğünün genel etkinliği etkileyebileceğini varsayarak ölçek etkisini değerlendirme dışında tutmakta ve karar birimlerinin yalnızca teknik etkinliğini değerlendirmektedir.

CRS ve VRS modelleri, girdi ve çıktı yönelimli olarak modellenebilir. Girdi yönelimli model, girdi kaynaklarının mevcut çıktıyı elde edebilmek için verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığını ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu modelde çıktı miktarı sabit tutularak girdi kaynaklarının ne kadar azaltılabileceği araştırılır. Çıktı yönelimli model ise, mevcut girdi karması ile maksimum seviyede çıktı elde edilip edilmediğine odaklanmaktadır. Bu modelde girdi miktarı sabit tutularak, çıktı miktarının ne kadar arttırılabileceği hesaplanır.

Girdi yönelimli VZA aşağıdaki gibi modellenmektedir. Bu modelde θ etkinlik skorunu, x girdi miktarını, y çıktı miktarını, n analize dâhil olan karar birimi sayısını, x_{i0} değerlendirilen karar değişkeninin i . girdi miktarını, y_{r0} değerlendirilen karar biriminin r . çıktı miktarını, λ_j ise değerlendirilen karar birimi ile karşılaştırılan karar birimlerinin doğrusal kombinasyonlarını göstermek üzere, ölçeğe sabit getirili girdi yönelimli VZA modeli aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$\theta^* = \min \theta$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m$$



$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s$$

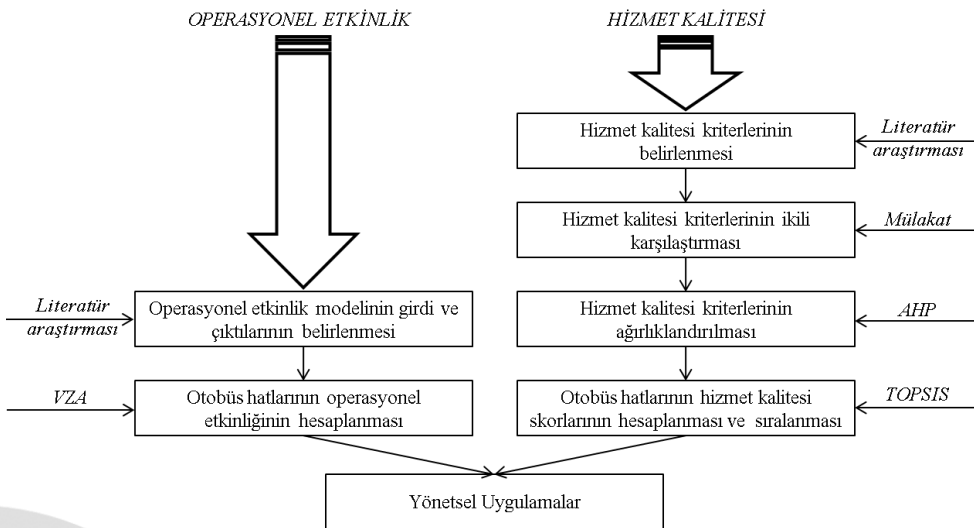
$$\lambda_j \geq 0$$

3. Analiz ve Uygulama

Araştırmanın uygulaması Sakarya Büyükşehir Belediyesi Otobüs İşletmesi tarafından işletilen 10 adet kampüs hattı üzerinde yapılmıştır. Bu hatlarda, üniversite öğrencileri Esentepe Kampüsü ile şehir merkezi arasında taşınmaktadır. Veri seti 2012 yılına aittir.

Araştırmada iki farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi hizmet kalitesi analizidir. Hizmet kalitesi analizi dört adımda gerçekleştirilmiştir. İlk olarak otobüs hattında sunulan hizmetin kalitesini belirleyen kriterler ve bunlara bağlı alt kriterler tespit edilmiştir. İkinci aşamada, belirlenen kriterler kullanıcılar tarafından AHP metodolojisine uygun olarak ikili karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Üçüncü aşamada kriter ağırlıkları AHP ile tespit edilmiştir. Son aşamada ise TOPSIS tekniği kullanılarak otobüs hatlarının hizmet kalitesi hesaplanmış ve otobüs hatları hizmet kalitesi skorlarına göre sıralanmıştır.

İkinci analiz ise operasyonel etkinlik analizidir. Operasyonel etkinlik analizi iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada operasyonel etkinlik modelinde kullanılacak girdiler ve çıktılar belirlenmiştir. İkinci ve son aşamada ise VZA kullanılarak hatların operasyonel etkinlikleri hesaplanmıştır. Hizmet etkinliği ve operasyonel etkinliğe ilişkin matematiksel analizler tamamlandıktan sonra, elde edilen etkinlik ve hizmet kalitesi skorları kullanılarak karar vericiler için yönetsel öneriler sunulmuştur. Araştırmanın uygulama aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araştırmanın Metodolojisi

3.1. Hizmet Kalitesi Analizi

Hizmet Kalitesi Kriterlerinin Belirlenmesi

Otobüs hatlarında sunulan hizmetin kalitesini belirleyen uygunluk, erişilebilirlik, güvenilirlik, konfor ve güvenlik gibi pek çok faktör bulunmaktadır (Yeh vd. 2000; Eboli

ve Mazzulla, 2011; Dell’Olio vd. 2011; De Ona vd. 2013; Taşkın ve Güner, 2014; Güner, 2016). Bu çalışmada, veri setinin kısıtlı olmasından ötürü yalnızca uygunluk ve konfor kriterleri değerlendirmeye alınmıştır. Uygunluk, sunulan transit hizmetin kullanıcılar açısından kullanılabilir olup olmadığını ölçmektedir. Bir otobüs hattının uygunluğunu ölçmek için beş kriter belirlenmiştir. Bunlardan birincisi hizmet süresidir. Hizmet süresi, bir otobüs hattında bir çalışma günü içerisinde toplam kaç dakika hizmet sunulduğunu göstermektedir. İkinci kriter sıklık olup, bir hatta bir gün içerisinde yapılan toplam gidiş-dönüş operasyon sayısını ifade etmektedir. Üçüncü kriter, bir hatta bir gün içerisinde sunulan toplam yolcu taşıma kapasitesidir. Kapasite, araç kapasitesi ile sıklığın çarpılması ile elde edilmiştir. Dördüncü kriter erişilebilirlik olup, kullanıcıların otobüs hattına kolaylıkla ulaşabilmelerini ifade etmektedir. Bu çalışmada erişilebilirlik, km başına düşen durak sayısı ile ölçülmüştür. Bir otobüs hattının kullanıcılar açısından uygunluğunu belirleyen beşinci ve son kriter ise hattın kapsamıdır. Otobüs hattının geniş bir coğrafi alana hizmet vermesi, şehrin farklı kesimlerinde oturan kullanıcılara da hizmet götürülebilmesini sağlamaktadır.

Diğer yandan konfor kriteri ise bir otobüs hattında sunulan hizmet seviyesi ile ilgilidir. Bir otobüs hattının konforunu belirlemek için dört kriter belirlenmiştir. Bunlardan birincisi araçların doluluk oranıdır. Doluluk oranının düşük olması, kullanıcılar açısından daha az sıkışıklık ve daha yüksek konfor anlamına gelir. Konforu belirleyen ikinci kriter ise hızdır. Hız, toplu taşımada geçirilen zamanı azaltır ve kullanıcılara zaman kazandırır. Üçüncü kriter klimalı araç oranıdır. Dördüncü ve son kriter ise direkt gidiştir. En kısa mesafeden sapmayı ifade eden direkt gidiş, hattın mevcut uzunluğundan en kısa mesafenin çıkartılması ile elde edilmiştir (Güner ve Coşkun, 2016). Hatların en kısa mesafeden sapmasını hesaplamak için Google Maps kullanılmıştır.

Hizmet Kalitesi Kriterlerinin İkili Karşılaştırması

Hizmet kriterleri belirlendikten sonra, bu kriterlerin görece önem derecelerini belirlemek amacıyla, AHP formatına uygun olarak, ikili karşılaştırmalardan oluşan bir anket formu hazırlanmıştır. Çalışmaya, toplu ulaşımı hemen her gün veya sıklıkla kullanan öğrenciler katılmıştır. Anket çalışması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle 20 öğrenci bire bir görüşülerek bir pilot çalışma yapılmıştır. Bu görüşmede, katılımcılara öncelikle çalışmanın amacı ve yöntemi hakkında bilgi verilmiş ve anket formunda yer alan her bir hizmet kriteri açıklanmıştır. Daha sonra katılımcılardan, anket formunda yer alan hizmet kriterlerini 1’den 9’a kadar olan ölçek üzerinde karşılaştırmaları istenmiştir. Katılımcının verdiği cevapların tutarlılığını test etmek amacıyla, verilen cevaplar aynı anda bir yazılım programına girilmiştir. Tutarlılık oranının %10’dan yüksek olması durumunda, tutarsızlığa neden olan ikili karşılaştırmaların gözden geçirilmesi talep edilmiştir. Böylelikle tutarlılık oranının %10’dan düşük olması sağlanmıştır. Her bir görüşme yaklaşık 20-25 dakika sürmüştür.

20 öğrenci ile yapılan pilot çalışmanın ardından, hazırlanan anket formu 74 öğrenciye sınıf ortamında uygulanmıştır. Öğrencilere çalışmanın amacı ve yöntemi hakkında bilgi verilmiş, anket formunda yer alan hizmet kriterleri açıklanmış ve bu kriterleri 1’den 9’a kadar olan ölçek üzerinde karşılaştırmaları istenmiştir. Böylelikle, araştırmaya toplam 94 öğrencinin katılımı sağlanmıştır.

Hizmet Kalitesi Kriterlerinin Ağırlıklandırılması



Araştırmaya katılan yolculardan elde edilen ikili karşılaştırma sonuçları kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Tablo 1, ana kriterler olan kullanılabilirlik ve konfor kriterlerinin ikili karşılaştırmasını göstermektedir. Tablo 2, kullanılabilirlik kriterine ilişkin alt kriterlerin kendi aralarındaki karşılaştırmasını, Tablo 3 ise konfor kriterine ilişkin alt kriterlerin kendi aralarındaki karşılaştırmasını göstermektedir. Matrislerde yer alan değerler, 94 katılımcının verdiği cevapların geometrik ortalamasıdır. Ayrıca, her karşılaştırmaya ilişkin özdeğer, tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı değerleri matrislerin altında verilmiştir.

Tablo 1. Ana Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	Kullanılabilirlik	Konfor
Kullanılabilirlik	1	1.70
Konfor	0.59	1
$\lambda_{max} = 2, CI = 2, CR = 0\%$		

Tablo 2. Kullanılabilirlik Kriterine İlişkin Alt Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	Hizmet Süresi	Sıklık	Kapasite	Erişilebilirlik	Hattın Kapsamı
Hizmet Süresi	1	0.47	0.61	1.54	0.87
Sıklık	2.12	1	1.47	3.33	1.97
Kapasite	1.64	0.68	1	2.53	1.79
Erişilebilirlik	0.65	0.30	0.40	1	0.69
Hattın Kapsamı	1.15	0.51	0.56	1.44	1
$\lambda_{max} = 5.0095, CI = 0.0024, CR = 0.21\%$					

Tablo 3. Konfor Kriterine İlişkin Alt Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	Doluluk Oranı	Hız	Klimalı Araç Oranı	Direkt Gidiş
Doluluk Oranı	1	1.21	0.69	0.67
Hız	0.83	1	0.85	0.81
Klimalı Araç Oranı	1.45	1.17	1	1.02
Direkt Gidiş	1.5	1.24	0.98	1
$\lambda_{max} = 4.0196, CI = 0.0065, CR = 0.72\%$				

Normalizasyon sürecinin ardından, her bir kriterin ve alt kriterin önem derecesi elde edilmiş ve Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere, uygunluk kriteri üniversite öğrencileri için konfor kriterine göre daha fazla önem taşımaktadır. Bunun nedeni, öğrencilerin büyük çoğunluğunun kampüs çevresinde ikamet etmesinden dolayı toplu taşımadaki yolculuk sürelerinin kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Kısa süreli yolculukta konfor önemini kaybetmekte, uygunluk daha önemli hale gelmektedir. Ancak bu sonucun sadece üniversite öğrencileri için geçerli olduğuna dikkat edilmelidir. Çalışmanın başka bir hattın yolcularına yapılması durumunda kriter ağırlıkları farklılık gösterebilir.

Tüm alt kriterler genel olarak değerlendirildiğinde, en önemli hizmet kriterinin sıklık (0.211) olduğu görülmüştür. Sıklığı sırasıyla kapasite (0.160), direkt gidiş (0.106), klimalı araç oranı (0.105), hattın kapsamı (0.099) ve hizmet süresi (0.095) takip etmektedir. Hız (0.080) ve araç doluluk oranı (0.079) görece daha az önem taşırken, erişilebilirlik ise en önemsiz hizmet kriteri olarak belirlenmiştir (0.064). Hizmet kalitesini belirleyen kriterlerin önem derecelerinin kullanıcı perspektifiyle belirlenmesi ile AHP süreci tamamlanmıştır.

Tablo 4. Kriter ve Alt Kriterlerin Önem Dereceleri



Kriter	Kriterin Ağırlığı	Alt-Kriter	Alt-Kriterin Grup İçindeki Ağırlığı	Alt-Kriterin Genel Ağırlığı
Uygunluk	0.630	Hizmet süresi	0.151	0.095
		Sıklık	0.335	0.211
		Kapasite	0.254	0.160
		Erişilebilirlik	0.102	0.064
		Hattın kapsamı	0.158	0.099
Konfor	0.370	Araç doluluk oranı	0.214	0.079
		Hız (km)	0.216	0.080
		Klimalı araç oranı	0.284	0.105
		Direkt gidiş	0.286	0.106

Otobüs Hatlarının Hizmet Kalitesi Skorlarının Hesaplanması ve Sıralanması

Uygulamanın son aşamasında, TOPSIS tekniği kullanılarak otobüs hatları hizmet kalitesi skorlarına göre sıralanacaktır. TOPSIS sürecinde ilk olarak karar matrisi oluşturulmakta ve sonrasında bu karar matrisi normalize edilmektedir. Normalize matrisin, AHP sürecinde elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılması sonucunda ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmektedir. Bu çalışma için oluşturulan ağırlıklandırılmış normalize matris Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Ağırlıklandırılmış Normalize Matris

Kriter Alt-Kriter ▶ Alternatifler ▼	Uygunluk					Konfor			
	HZM	SIK	KAP	ERŞ	KPS	DOL	HIZ	KLM	DRK
#4	0.031	0.076	0.034	0.015	0.029	0.030	0.020	0.033	0.038
#12	0.028	0.018	0.008	0.030	0.034	0.015	0.032	0.033	0.023
#15	0.031	0.100	0.080	0.016	0.019	0.027	0.025	0.033	0.012
#19/K	0.031	0.054	0.039	0.016	0.021	0.024	0.023	0.033	0.021
#21/A	0.032	0.050	0.036	0.018	0.046	0.021	0.024	0.033	0.061
#21/B	0.032	0.048	0.034	0.017	0.046	0.020	0.023	0.033	0.061
#24/K	0.030	0.032	0.023	0.026	0.041	0.046	0.031	0.033	0.015
#26	0.031	0.126	0.111	0.020	0.017	0.018	0.023	0.033	0.009
#27	0.025	0.030	0.014	0.019	0.019	0.017	0.021	0.033	0.017
#29	0.030	0.054	0.031	0.020	0.025	0.016	0.029	0.033	0.026

HZM: Hizmet süresi; SIK: Sıklık; KAP: Kapasite; ERŞ: Erişilebilirlik; KPS: Hattın kapsamı; DOL: Araç doluluk oranı; HIZ: Hız; KLM: Klimalı araç oranı; DRK: Direkt gidiş

Ağırlıklandırılmış normalize matris kullanılarak her bir kriter için ideal ve negatif-ideal sonuçlar belirlenmiştir. Araç doluluk oranı ve direkt gidiş kriterlerinde minimum değerler ideal iken, diğer yedi kriterde ise maksimum değerler idealdir. İdeal ve negatif-ideal sonuç tablosu Tablo 6'da sunulmuştur. Tablo 7'de ise her bir hattın ideal ve negatif-ideal değere yakınlığı hesaplanmıştır.

Tablo 6. İdeal ve Negatif-İdeal Değerler Matrisi

Kriter Alt-Kriter	Uygunluk					Konfor			
	HZM	SIK	KAP	ERŞ	KPS	DOL	HIZ	KLM	DRK
İdeal Sonuç	0.032	0.126	0.111	0.030	0.046	0.015	0.032	0.033	0.009
Negatif-İdeal Sonuç	0.025	0.018	0.008	0.015	0.017	0.046	0.020	0.033	0.061

HZM: Hizmet süresi; SIK: Sıklık; KAP: Kapasite; ERŞ: Erişilebilirlik; KPS: Hattın kapsamı; DOL: Araç doluluk oranı; HIZ: Hız; KLM: Klimalı araç oranı; DRK: Direkt gidiş

Tablo 7. İdeal ve Negatif-İdeal Değerlere Yakınlık

Alternatifler	İdeal Değere Yakınlık (D_i^+)	Negatif-İdeal Değere Yakınlık (D_i^-)
#4	0.100	0.070
#12	0.150	0.055
#15	0.053	0.121
#19/K	0.107	0.065
#21/A	0.120	0.057
#21/B	0.122	0.056
#24/K	0.133	0.058
#26	0.032	0.160
#27	0.140	0.054
#29	0.112	0.064

Son olarak, her bir otobüs hattının yakınlık indeksi hesaplanmış ve otobüs hatları hizmet kalitesi skorlarına göre sıralanmıştır. Böylelikle iki aşamalı AHP-TOPSIS süreci tamamlanmış ve her bir hattın hizmet kalitesi skoru hesaplanmıştır. Hatların hizmet kalitesi skorları Tablo 8’de gösterilmiştir.

AHP ve TOPSIS analizleri sonucunda elde edilen hizmet kalitesi skorları, karar vericilere hatların hizmet kalitesini izleme ve iyileştirme anlamında önemli bilgiler sunmaktadır. Sonuçlar, #26 hattının en yüksek hizmet kalitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu hattı sırasıyla #15, #4, #19/K, #29, #24/K, #21/A, #21/B, ve #27 numaralı hatlar takip etmektedir. En düşük hizmet kalitesi ise #12 hattında sunulmaktadır.

Tablo 8. Yakınlık İndeksi ve Sıralama

Alternatifler	Yakınlık İndeksi (C_i^*)	Sıralama
#4	0.412	3
#12	0.267	10
#15	0.697	2
#19/K	0.379	4
#21/A	0.323	6
#21/B	0.313	7
#24/K	0.304	8
#26	0.836	1
#27	0.277	9
#29	0.363	5

3.2. Operasyonel Etkinlik Analizi

Operasyonel etkinlik modelinin girdi ve çıktılarının belirlenmesi

Şehir içi otobüs hatlarının operasyonel etkinliğini ölçmek amacıyla kapasite, yakıt miktarı ve sermaye olmak üzere üç adet girdi değişkeni kullanılmıştır. Kapasite, bir gün içerisinde bir hatta sunulan toplam yolcu taşıma kapasitesini ifade etmektedir. Kapasite, hatta faaliyet gösteren aracın yolcu taşıma kapasitesi ile sefer sayısının çarpılması ile elde edilmektedir. Yakıt miktarı, bir hatta bir günde tüketilen ortalama yakıt miktarını göstermektedir. Litre cinsinden hesaplanan yakıt miktarı, araçların km başına tükettiği yakıt miktarı ile mesafenin çarpılması ile elde edilmiştir. Operasyonel etkinlik modelinde kullanılan son girdi değişkeni ise sermaye olup, bir hatta faaliyet gösteren otobüslerin Türk Lirası cinsinden değerini ifade etmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda sermaye, araç sayısı ile ölçülmektedir. Ancak bu çalışmada,



hatlardaki farklı kapasiteli araçların değerlerinin de farklı olmasından ötürü finansal değerlerinin alınması uygun görülmüştür. Araç değerleri, üretici firmanın fiyat listesinden temin edilmiştir. Yakıt miktarı ve sermaye, toplu ulaşım sistemlerinin etkinlik ölçümünde sıklıkla kullanılmaktadır (Chang ve Kao, 1992; Karlaftis, 2003; Karlaftis, 2004).

Diğer yandan, bağlantısız yolculuk sayısı, operasyonel etkinliğin ölçülebilmesi için tek çıktı değişkeni olarak belirlenmiştir. Bağlantısız yolculuk sayısı, bir toplu taşıma aracında ödenen ücrete veya aktarmalı yolculuklara bakmaksızın, sunulan toplam yolculuk hizmeti sayısını göstermektedir (APTA). Bağlantısız yolculuk sayısı, hem sunulan hizmet seviyesini hem de toplam geliri temsil ettiğinden ötürü, operasyonel etkinlik modeli için uygun bir çıktı değişkenidir (Karlaftis, 2004; Barnum vd. 2008; Lao ve Liu, 2009; Güner ve Coşkun, 2016).

Otobüs hatlarının operasyonel etkinliğinin hesaplanması

Otobüs hatlarının operasyonel etkinliğinin ölçülmesi aşamasında, hem teknik hem de ölçek etkinliğini birlikte değerlendirebilmek amacıyla ölçeğe sabit getirili VZA kullanılmıştır. Ayrıca, girdi parametresinin çıktı parametrelerine göre daha kontrol edilebilir olmasından ötürü girdi yönelimli VZA tercih edilmiştir.

Yapılan analizler neticesinde, 10 hat içerisinde sadece #15 ve #24/K hatlarının tam etkinlikle faaliyet gösterdiği görülmektedir. #19/K hattı da tam etkinlik skoruna çok yakındır. Bu hatları sırasıyla #26, #4, #27, #29, #21/A ve #21/B takip etmektedir. #12 ise en düşük etkinlik seviyesine sahip hattır. Tüm hatların etkinlik skorları Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Operasyonel Etkinlik Skoru

Hat	Operasyonel Etkinlik Skoru	Sıralama
#4	0.67	5
#12	0.33	10
#15	1.00	1
#19/K	0.99	3
#21/A	0.48	8
#21/B	0.44	9
#24/K	1.00	1
#26	0.80	4
#27	0.55	6
#29	0.51	7

4. Yönetsel Uygulamalar

Otobüs hatları hizmet kalitesi ve operasyonel etkinlik açısından analiz edildikten sonra, bu aşamada hatların performansını artırmak amacıyla yönetsel öneriler sunulacaktır. Ancak yönetsel önerilere geçmeden önce, operasyonel etkinliği artırmak için yapılacak bir çalışmanın hizmet kalitesini düşürebileceğine dikkat çekmek gerekmektedir. Bir hattın operasyonel etkinliğini artırmak için, taşınan yolcu sayısını azaltmaksızın hatta kullanılan fiziksel kaynakların (yani kapasite, yakıt miktarı ve sermaye) azaltılması gerekmektedir. Ancak kapasite, yakıt miktarı ve sermayenin azaltılması, hizmet kalitesi kriterleri olan sıklık, kapasite, hizmet kapsamı ve hız gibi



değişkenleri doğrudan veya dolaylı bir şekilde etkileyecek ve sunulan hizmet kalitesini düşürecektir. Hizmet kalitesinin düşmesi, yani hattın kullanılabilirliğinin azalması ve konforunun kötüleşmesi, ulaşım hizmetinden faydalanan kullanıcı sayısında bir azalmaya neden olabilir. Yolcu sayısının azalması durumunda, hatta kullanılan fiziksel kaynaklar azalsa bile, operasyonel etkinlik anlamında bir iyileşme olmayacaktır.

Diğer yandan, hizmet kalitesindeki artış kullanıcı sayısını artırma potansiyeline sahiptir. Nitekim literatürde yapılan pek çok çalışma, toplu ulaşım sistemlerinde yüksek hizmet seviyesi sunulmasının toplu taşıma sistemini kullanma deneyimini olumlu yönde etkilediğini ve kullanıcı sayısını arttırdığını doğrulamaktadır (Hensher vd. 2010; De Ona ve De Ona, 2015). Taşınan yolcu sayısının artması durumunda, kullanılan fiziksel kaynaklar artsa dahi, operasyonel etkinlik performansı düşmeyecektir.

Görüleceği üzere, toplu taşıma sistemlerinde hizmet kalitesi, operasyonel etkinliğe göre daha belirleyici bir performans göstergesidir. Ancak operasyonel etkinliği tamamen göz ardı ederek yalnızca hizmet kalitesi skorunu dikkate almak, iyileştirme sürecine verimsiz hatlardan başlanmasına ve performans yönetiminde hatalı uygulamalara neden olabilir. Nitekim hatlarda sunulan hizmet kalitesi, operasyonel etkinlikle orantılı olmalıdır. Analiz sonuçlarının yorumlanması ve uygulanması aşamasında bu noktaya dikkat edilmelidir.

Hatların kalite ve etkinlik performanslarını görselleştirmek ve performans yönetimini kolaylaştırmak amacıyla, dikey ekseninde hizmet kalitesinin, yatay ekseninde ise operasyonel etkinlik skorlarının bulunduğu Şekil 2'deki iki boyutlu grafik hazırlanmıştır. Hatların operasyonel etkinlik skorları 0 ile 1 arasında, hizmet kalitesi skorları ise 0.836 ile 0.267 arasında değişmektedir.

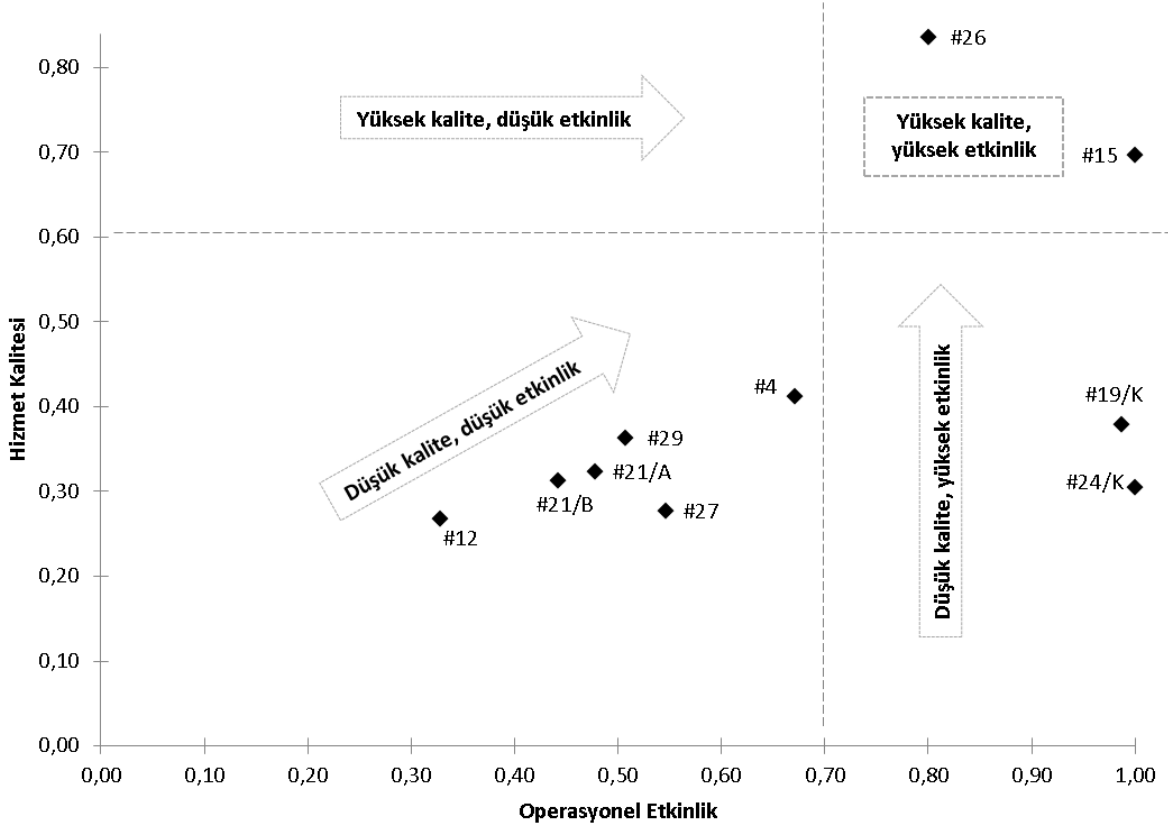
Bir hattın operasyonel etkinliğinin yüksek olması, yani yatay ekseninde sağ tarafa yakın olması, o hattaki kaynakların verimli bir şekilde kullanıldığını ve eldeki fiziksel imkânlarla çok miktarda yolcu taşındığını göstermektedir. Operasyonel etkinliğin düşük olması ise, hatta sunulan kaynakların verimli bir şekilde kullanılmadığını ve kullanılan kaynaklar göz önüne alındığında az sayıda yolcu taşındığını göstermektedir. Diğer yandan, hattın dikey ekseninde yukarıda konumlanması yüksek seviyede hizmet sunulduğunu, aşağıda konumlanması ise düşük seviyede hizmet sunulduğunu gösterir. Analize dâhil olan hatlar kalite ve etkinlik skorlarına göre bu grafik üzerinde konumlandırılmıştır. Şekil 2'de görselleştirilen bu yapı, hat kalitesini iyileştirme çalışmalarının nereden başlaması gerektiği konusunda karar vericilere önemli bilgiler sunmaktadır. Bunun için hatların grafikte nerede konumlandığına bakılmalıdır.

Şekil 2 dört bölgeye ayrılmıştır. Sol alt tarafta bulunan bölge hem etkinlik hem de kalite seviyesi düşük olan hatları göstermektedir. Görüleceği gibi hatların büyük çoğunluğu bu bölgede bulunmaktadır. Sol üst bölge, kalite seviyesi yüksek ancak operasyonel etkinliği düşük olan hatları göstermektedir. Hatların hiçbirisinin bu bölgede yer almadığı belirlenmiştir. Sağ alt bölgede kalite seviyesi düşük ancak operasyonel etkinliği yüksek olan hatlar bulunmaktadır. #19/K ve #26 hatları bu bölgede yer almaktadır. Dördüncü ve son bölge olan sağ üst ise hem yüksek kalite seviyesinin sunulduğu hem de operasyonel anlamda yüksek etkinlikle faaliyet gösteren hatları göstermektedir. #26 ve #15 hatları bu bölgede konumlanmıştır.

Hatlarda sunulan hizmet kalitesi, operasyonel etkinlikle orantılı olmalıdır. Operasyonel etkinliği yüksek olan hatların hizmet kalitesi yüksek, operasyonel etkinliği düşük olan



hatların ise hizmet kalitesi düşük olmalıdır. Örneğin, operasyonel etkinliği çok düşük olan #12 hattında bir günde taşınan ortalama yolcu sayısı sadece 159 iken, operasyonel etkinliği yüksek olan #24/K hattında bir günde taşınan ortalama yolcu sayısı 1355'tir. Dolayısıyla #24/K hattında neden daha yüksek hizmet seviyesi sunulması gerektiği anlaşılabilir.



Şekil 2. Hatların Hizmet Kalitesi ve Operasyonel Etkinlik Skorları

Bu açıklamalar ışığında, kalite iyileştirme çalışmalarının #24/K hattından başlaması uygun olacaktır. Nitekim bu hat, tam operasyonel etkinlikle faaliyet gösterdiği halde, hizmet seviyesi son derece düşüktür. Bu sonuç, #24/K hattındaki fiziki kaynakların verimli bir şekilde kullanıldığını ve çok sayıda yolcu taşındığını göstermektedir. Ancak taşınan çok sayıda yolcuya düşük seviyede hizmet sunulmaktadır. #24/K hattını #15 ve #19/K takip etmelidir.

Sol alt bölgede yer alan hatlar incelendiğinde, kalite iyileştirme çalışmalarının #4 hattından başlaması gerektiği görülmektedir. Nitekim bu hat, bu bölgede yer alan diğer hatlara göre daha yüksek bir verimlilikle faaliyet göstermektedir. #4 hattını sırasıyla #27, #29, #21/A ve #21/B takip etmelidir. Kalite iyileştirilmesi yapılması gereken son hat ise #12'dir. Operasyonel etkinliği son derece düşük olan bu hatta fiziki kaynaklar yeterinde kullanılamamakta ve az sayıda yolcu taşınmaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışma, şehir içi ulaşım sistemlerinin iki temel paydaşı olan işletici ve kullanıcıların bakış açılarını ve beklentilerini bir arada değerlendirebilecek bir yaklaşım geliştirerek, karar vericilere daha kapsamlı ve sağlıklı bir performans analizi imkânı sunmak amacıyla yapılmıştır. Araştırmada, kullanıcının bakış açısını yansıtan hizmet kalitesini



ölçmek amacıyla AHP ve TOPSIS tekniklerine dayalı iki aşamalı bir yaklaşım kullanılmıştır. İşletmecinin bakış açısını yansıtan operasyonel etkinlik ise VZA ile ölçülmüştür.

Yapılan analizler neticesinde her bir otobüs hattı için hem hizmet kalitesi hem de operasyonel etkinlik skoru elde edilmiştir. Elde edilen bu skorlar birbirinden bağımsız olarak hat performansının iyileştirilmesinde kullanılabilir. Ancak bunun da ötesinde, bu çalışmada, her iki performans boyutunun birlikte kullanılarak hat performansının nasıl daha sağlıklı bir şekilde iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Böylelikle, karar vericiler için daha kapsamlı bir performans değerlendirme sistemi sunulmaya çalışılmıştır.

Diğer yandan analiz sonuçları, üniversite öğrencilerinin konfordan ziyade uygunluğa daha fazla önem verdiğini ortaya koymuştur. Bu sonucun öğrencilerin büyük çoğunluğunun kampüs çevresinde ikamet etmesinden ve toplu taşımadaki yolculuk sürelerinin kısa olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Ayrıca sıklık, kapasite ve hizmet süresinin kullanıcıların memnuniyetini etkileyen en önemli hizmet kriterleri olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- American Public Transportation Association (APTA), Definition of Terms and Abbreviations, <http://www.apta.com/resources/statistics/Documents/Ridership/missdef.pdf>
- Banker, R.D. (1984). Estimating Most Productive Scale Size Using Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, Cilt 17, s. 35-44.
- Barnum, D.T., McNeil, S. ve Hart, J. (2007). Comparing the Efficiency of Public Transportation Subunits Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Public Transportation*, Cilt 10, No. 2, s. 1-16.
- Barnum, D.T., Tandon, S. ve McNeil, S. (2008). Comparing the Performance of Bus Routes after Adjusting for the Environment Using Data Envelopment Analysis", *Journal of Transportation Engineering*, Cilt 134, No. 2, s. 77-85.
- Chang, K.P. ve Kao, P.H. (1992). The Relative Efficiency of Public versus Private Municipal Bus Firms: An Application of Data Envelopment Analysis, *Journal of Productivity Analysis*, Cilt 3, s. 67-84.
- Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E. (1978). Measuring Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, Cilt 2, s. 429-444.
- De Ona, J. ve De Ona, R. (2015). Analysis of Transit Quality of Service through Segmentation and Classification Tree Techniques, *Transportmetrica A: Transport Science*, Cilt 11, Sayı 5, s. 365-387.
- De Ona, J., De Ona, R., Eboli, L. ve Mazzulla, G. (2013). Perceived Service Quality in Bus Transit Service: A Structural Equation Approach, *Transport Policy*, Cilt 29, s. 219-226.
- Dell'Olio, L., Ibeas, A. ve Cecin, P. (2011), The Quality of Service Desired by Public Transport Users, *Transport Policy*, Cilt 18, s. 217-227.
- Eboli, L. ve Mazzulla, G. (2011). A Methodology for Evaluating Transit Service Quality Based on Subjective and Objective Measures from the Passenger's Point of View, *Transport Policy*, Cilt 18, s. 172-181.
- Güner, S. ve Coşkun, E. (2016). Determining the Best Performing Benchmarks for Transit Routes with A Multi-Objective Model: The Implementation and a Critique of the Two-Model Approach, *Public Transport*, Cilt 8, Sayı 2, s. 205-224.
- Güner, S. (2016). Şehir İçi Otobüs Hatlarına İlişkin Hizmet Etkinliği Analizi: Sakarya Büyükşehir Belediyesi Otobüs İşletmesi Uygulaması, 9. TRANSİST İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, Bildiriler Kitabı, s. 8-14, İstanbul.
- Güner, S. (2014). Çok Amaçlı Çevrelerde Birbirleri ile İlişkili Hedeflerin İlişkisel Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı (R-DEA) ile Yönetilmesi: Sakarya Büyükşehir Belediyesi Otobüs İşletmeleri



- Uygulaması, Basılmamış Doktora Tezi, Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Hensher, D.A., Mulley, C. ve Yahya, N. (2010). Passenger Experience with Quality-Enhanced Bus Service: The Tyne and Wear 'Superoute' Services, *Transportation*, Cilt 37, s. 239-256.
- Hwang, C. L. ve Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications*, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Karlaftis, M.G. (2004). DEA Approach for Evaluating the Efficiency and Effectiveness of Urban Transit Systems, *European Journal of Operational Research*, Cilt 152, s. 354-364.
- Karlaftis, M.G. (2003). Investigating Transit Production and Performance: A Programming Approach, *Transportation Research Part A*, Cilt 37, s. 225-240.
- Lao, Y. ve Liu, L. (2009). Performance Evaluation of Bus Lines with Data Envelopment Analysis and Geographic Information Systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, Cilt 33 s. 247-255
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*, New York: McGraw.
- Taşkın, K. ve Güner, S. (2014). Şehir İçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Hizmet Kalitesinin Kullanılabilirlik ve Rahatlık-Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi: Sakarya Minibüsçüleri Odası Örneği, 6. Uluslararası Balkanlarda Sosyal Bilimler Kongresi, *Bildiriler Kitabı*, s.712-722, Komrat/Moldova.
- Yeh, C.H., Deng, H. ve Chang, Y.H. (2000). Fuzzy Multicriteria Analysis for Performance Evaluation of Bus Companies", *European Journal of Operational Research*, Cilt 126, s. 459-473.



