

ŞEHİR İÇİ TOPLU TAŞIMA HİZMETLERİNİN ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ: MERSİN İLİ ÖRNEĞİ¹

EVALUATING THE EFFICIENCY OF URBAN PUBLIC TRANSPORTATION SERVICES: THE CASE OF MERSIN

Kismet CİNGÖZ

Tarsus Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler
Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik
kismetcingoz@tarsus.edu.tr
ORCID: 0000-0002-6006-6760

Ayhan DEMİRCİ

Toros Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler
Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik
ayhan.demirci@toros.edu.tr
ORCID: 0000-0003-3788-4586

ÖZ

ABSTRACT

Geliş Tarihi:
21.06.2025

Kabul Tarihi:
04.09.2025

Yayın Tarihi:
28.09.2025

Anahtar Kelimeler
Toplu Taşıma,
Etkinlik,
Veri Zarflama
Analizi.

Keywords
Public
tTransportation,
Efficiency,
Data Envelopment
Analysis.

Sürdürülebilirliğin üç boyutu olan ekonomik, çevresel ve sosyal yönden önemli etkileri bulunan trafik sorununun çözümü için en fazla önerilen yöntem toplu taşıma kullanımının yaygınlaştırılması ve teşvik edilmesidir. Ancak toplu taşıma kullanımının artırılması, yerel yönetimlerin ellerindeki kısıtlı kaynaklarla sunabildikleri hat sayısı ve sefer sıklığına bağlıdır. Bu da kaynakların etkin kullanımı ve yönetimiyle mümkündür. Bu kapsamda çalışmada, Mersin ilinin dört merkezi ilçesinde -Akdeniz, Mezitli, Toroslar, Yenişehir- yerel yönetim tarafından 28 hat üzerinden sunulan toplu taşıma hizmetinin, hat bazında etkinlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, kâr amacından ziyade hizmet olarak sunulan toplu taşıma hatlarının etkinliklerinin belirlenmesinde girdi yönelimli ve ölçeğe göre sabit getiri yaklaşımıyla veri zarflama analizi kullanılmıştır. Frontier Analyst Application programı ile yapılan analizde; günlük sefer sayısı, durak sayısı, otobüs sayısı ve sefer aralıkları verileri girdi verileri, sefer süresi ve toplam mesafe verileri ise çıktı verileri olarak ele alınmıştır. Sadece sekiz hattın tam etkinlik skoruna ulaştığı belirlenen analizler sonucunda elde edilen bulgular çerçevesinde diğer hatlar için etkinlik artırıcı önerilerde bulunulmuştur.

The most recommended method for the solution of the traffic problem, which has important economic, environmental, and social effects, which are the three dimensions of sustainability, is to expand and encourage the use of public transportation. However, increasing the use of public transportation depends on the number of routes and the frequency of service that local governments can offer within the constraints of their limited resources. This is possible with the efficient use and management of resources. In this study, the efficiency evaluation of the public transportation service, which is offered by the local government on 28 lines in four central districts – Akdeniz, Mezitli, Toroslar, Yenişehir- in Mersin, was made on a line basis. In this context, Data Envelopment Analysis with an input-oriented approach and constant returns to scale was employed to assess the efficiency of public transportation routes, which are provided as a service rather than for profit. In the analysis conducted with Frontier Analyst Application, the number of daily trips, frequency, number of stops, number of buses were considered inputs, while trips time, and total distance covered were treated as outputs. As a result, only eight lines were found to have achieved full efficiency scores, and efficiency-enhancing recommendations were proposed for the other lines.

DOI: <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1724329>

Atıf/Cite as: Cingöz, K. & Demirci, A. (2025). Şehir içi toplu taşıma hizmetlerinin etkinlik değerlendirilmesi: Mersin ili örneği. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 15(3), 1306-1319.

¹ Bu makale, 16-17 Kasım 2023 tarihinde Tarsus/Türkiye’de düzenlenen “12. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresinde” sunulan ve Bildiri Özetleri Kitabında yer alan “Kamu Hizmeti Olarak Sunulan Şehir içi Ulaşım Sistemlerinin Etkinliği: Mersin İli Örneği” isimli bildirinin genişletilmesi suretiyle türetilmiştir.

Giriş

Toplu ulaşım, kentsel ulaşım veya toplu taşımacılık olarak da bilinen toplu taşıma, insanların genel kullanımı için uygun olan ve aynı zamanda paylaşımlı yolcu taşıma hizmetidir (Tarudin, vd., 2021: 326). Yerleşim alanlarının şehirlerin dışına yayılması, ekonomik faaliyetlerin sanayi bölgelerinde yer alması ve fakültelerin üniversite kampüslerine taşınması, özellikle toplu taşımaya bağımlı olanlar için bu yerlere erişim için araç kullanım ihtiyacını daha da artırmıştır (Sanchez, 2009: 1). Bu durum ise toplu taşımanın insanların yaşam kalitesi üzerinde oldukça etkili olmasına neden olmaktadır. Toplu taşıma hizmetleri belediyeler veya belediyelerin yetki verdiği özel – şahıs şirketleri tarafından sağlanmaktadır. Dünya genelinde en çok kullanılan toplu taşıma türü otobüslerdir (Saatçioğlu ve Yaşarlar, 2012: 121). Otobüsler belediyeler tarafından işletilmektedir ve genel olarak ücretleri diğer toplu taşıma türlerinden daha düşüktür. Buna ek olarak kapsam alanı diğer toplu taşıma türlerine kıyasla daha geniştir. Bu sebeple kullanılan hat sayısı fazla ve rota ağı tüm şehri kapsayacak şekilde geliştirilmektedir.

Otobüs hatlarında, kullanılan hat sayısının fazla olması, rota ağının tüm şehri kapsayacak şekilde geniş olması ve otobüs ile toplu taşımada kâr amacı güdülmemesi gibi sebepler belediyeleri otobüs hatlarının verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığını kontrol etmeye yöneltmektedir. Kullanılan hatların sayısı, hatlardaki durak sayıları, otobüslerin sefer aralıkları (sefer sayıları), hat başına kullanılan otobüs sayıları performans ölçümünde genellikle girdi değişkeni olarak kullanılırken hatların ve otobüslerin doluluk oranları, sefer süreleri, hatların uzunluğu (kilometre) çıktı değişkeni olarak kullanılmaktadır. Otobüs hatlarını etkin kullanmaya çalışan belediyeler az otobüsle, az sefer sıklığı ile daha çok alanı kapsayacak şekilde hizmet vermek isterler. Ancak yolcular açısından değerlendirildiğinde ise yolcular en kısa sürede ve en kısa mesafe ile varış yerine gitmek isterler. Burada birbirleriyle çelişen amaçlar bulunmaktadır. Kullanılan otobüs sayısının ve hatların sefer sıklığının az olması yani iki sefer arasındaki sürenin uzun olması bir yandan yolcuların duraklarda bekleme sürelerini uzatırken bir diğer yandan da yolcuların seyahat sürelerini (otobüsün içerisinde geçirilen zamanı) uzatmaktadır. Bu sebeple belediyelerin ve karar vericilerin bir yandan performanslarını iyileştirecek şekilde kararlar verirken diğer yandan da otobüs kullanıcılarının memnuniyetini göz önünde bulundurması gerekmektedir.

Bu doğrultuda, bu çalışmanın amacı Mersin ilinde bulunan dört merkez ilçede (Akdeniz, Mezitli, Toroslar, Yenişehir) yerel yönetim tarafından 28 hat üzerinden sunulan toplu taşıma hizmetinin, hat bazında etkinliklerini değerlendirmek ve hangi hatların etkin hangi hatların etkin olmadığını ortaya koymaktır. Bu amaçla, sunulan toplu taşıma hatlarının etkinliklerinin belirlenmesinde girdi yönelimli ve ölçeğe göre sabit getiri yaklaşımıyla veri zarflama analizi (VZA) kullanılmıştır. VZA'nın CCR ve BCC modelleriyle yapılan analizlerde "Frontier Analyst Application – Versiyon 4.0.0, Banxia Software" programı kullanılmıştır.

Yazın Taraması

İnsanlar dünya genelinde iklim değişikliği ve küresel ısınmanın çevreyi, insanları ve yeryüzündeki hayvanları önemli ölçüde etkilediğinin farkındadır. Gaz emisyonlarının artmasını önlemek ve kentsel alanlarda trafik sıkışıklığını azaltmak için ulaşım sektöründe toplu taşımanın etkin bir şekilde kullanılması oldukça önemlidir. Çünkü toplu taşıma sistemi etkili ve verimli olursa yollardaki araç sayısı ve trafik sıkışıklığı azalabilir (Tomas ve Rahman, 2022: 248).

Toplu taşıma araçlarının etkinliğinin ölçülmesinde literatürde Gri İlişkisel Analiz, Bulanık Kapsamlı Değerlendirme, Stokastik Sınır Analizi (SSA) ve Veri Zarflama Analizi (VZA) gibi farklı yöntemler kullanıldığı görülmektedir (Caulfield vd., 2013; Daraio vd., 2016; Huang vd., 2018; Pedrosa vd., 2018). Bu yöntemler içerisinde VZA çeşitli avantajlar sunmaktadır. İlk olarak birimler kümesi içinde verimli bir puan elde etmek amacıyla girdilerin ve çıktıların eşzamanlı analizine olanak tanır (Ali ve Lerme, 1997: 218). İkinci olarak girdiler ve çıktılar farklı birimlerde olabilir. Üçüncü olarak VZA, verimlilik ölçütlerine karşılık gelen standartların oluşturulmasını gerektirmez. Dördüncü olarak ise bu yöntem girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi tanımlayan önceden belirlenmiş üretim fonksiyonlarına ihtiyaç duymaz (Naim vd., 2022: 382). Yöntemin bir diğer avantajı ise birden fazla girdi ve çıktıya sahip modeller için çalışır ve Karar Verme Birimi'nin (KVB) göreceli geçerliliğini değerlendirmek için matematiksel programlama kullanır (Charnes vd., 1978; Lao ve Liu, 2009). Bu doğrultuda çalışmanın yöntemi olan VZA kullanılarak toplu taşıma hatlarının etkinliğini ölçen çalışmalar özetlenmiştir.

Sanchez (2009), İspanya'daki 24 belediye bölgesinde sunulan otobüs toplu taşıma hizmetinin etkinliğini farklı girdi ve çıktı kombinasyonlarını kullanarak VZA ile belirlemiştir. Çıktı sayısını azaltmak için temel bileşenler

analizi ve çevresel heterojenliğe etki eden faktörlerin belirlenmesi için de Tobit regresyon analizi kullanılan çalışmada girdi değişkenleri; çalışan sayısı, yakıt tüketimi, otobüs sayısı verileri ile çıktı değişkenleri; kat edilen mesafe, toplam koltuk kapasitesi, servis süresi, yolcu sayısı, servis sıklığı, filo yeniliği, durak sayısı, kaza ve arızaya bağlı güvenlik seviyesi verileri kullanılmıştır. Çalışma ayrıca sosyal bazı indikatörlerle (nüfus yoğunluğu, kişi başına kullanım süresi, dolaşımdaki özel araç sayısı, otobüslerin ulaştıkları ortalama ticari hızları, acil süre yoğunluğu, ortalama rota uzunluğu, alternatif kamu taşımacılık olanakları) de desteklenmiştir.

Lao ve Liu (2009), toplu taşıma sisteminde yer alan otobüs hatlarının performansını hem operasyonel açıdan hem de iletim açısından değerlendirebilmek için VZA ve coğrafi bilgi sistemlerini (GIS) birlikte kullanmışlardır. İlk olarak her otobüs hattının hizmet koridoru içinde demografik profiller oluşturmak için GIS kullanılan çalışmada, her bir otobüs hattının operasyonel verimliliği ve mekânsal etkinlik puanlarını hesaplamak üzere VZA yöntemi uygulanmıştır. Operasyonel verimlilik için girdi değişkeni olarak çalışma süresi, gidiş dönüş mesafesi ve durak sayısı kullanılırken çıktı değişkeni olarak toplam yolcu sayısı kullanılmıştır. Mekânsal etkinlik analizinde ise girdi değişkeni olarak otobüsleri kullanan kişi sayısı, 65 yaş üstü nüfus, engelli kişi sayısı kullanılırken çıktı değişkeni olarak yine toplam yolcu sayısı kullanılmıştır.

Hawas, Khan ve Basu (2012), Al Ain Toplu Taşımacılık Hizmetleri'nin performans düzeyini, gidiş-dönüş seyahat süresi, toplam durak sayısı, toplam operatör sayısı, toplam otobüs sayısı verilerini girdi değişkenleri ve günlük yolcu sayısı ve araç-kilometre verilerini çıktı değişkeni olacak şekilde tanımlayarak VZA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Çalışmada iki tür senaryo geliştirilmiş ve test edilmiştir. İlk senaryoda, güzergâhlar için aynı performans seviyelerini (verimlilik ve etkinlik) korurken işletme maliyetini düşürme olasılığını araştırmayı amaçlamışlardır. İkinci senaryoda ise güzergâh hizalamasını (ve ardından girdi ve çıktı değişkenlerini) değiştirerek temel performans seviyelerinin nasıl iyileştirilebileceğini araştırmışlardır. Daha sonra, her güzergâhın verimliliğini ve etkinliğini ölçmek için duyarlılık analizi yapmışlardır

Wei vd. (2013) çalışmalarında, Çin'deki 34 ilde yerel yönetimler tarafından sunulan toplu taşıma hizmetini karşılaştırmışlardır. VZA ile yapılan etkinlik ölçümünde girdi olarak; demiryolu ve karayolu yoğunluğu, karayolu uzunluğu, araç sayısı, sabit yatırım maliyeti, çalışan sayısı verileri kullanılırken çıktı olarak; hava kirliliği ve gürültü seviyesi verileri kullanılmıştır.

Vaidya (2014), Hindistan'da toplu taşımacılık faaliyeti yürüten 26 kuruluşun etkinliğini analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve VZA kullanarak belirlemiştir. Operasyon, finans ve kaza ana kriterleri altındaki 19 kritere göre AHP ile değerlendirilmesi sonucunda önem seviyeleri belirlenmiştir. Ardından her bir grup altındaki kriterleri, kendi içerisinde girdi ve çıktı olarak ele alınarak VZA ile 26 kuruluş değerlendirilmiş ve tüm KVB'ler etkinlik skorlarına göre gruplandırarak sonuçları sunulmuştur.

Rezaee vd. (2016), sınırlı sayıda KVB nedeniyle VZA'nın yanı sıra Nash pazarlık oyunu bütünleşik analizini yaptıkları çalışmalarında Kaliforniya merkezinde sunulan toplu taşıma hizmet etkinliğini değerlendirmişlerdir. Analizlerde otobüs güzergâhlarına ilişkin girdiler; operasyonel girdiler (gidiş-dönüş mesafesi (mil), otobüs durak sayısı ve yıllık araç saati) ve mekânsal girdiler (65 yaş ve üzeri nüfus, otobüs kullanan 16 yaş ve üzeri yolcular ve çalışanlar ile engelli nüfus) olarak iki kategoriye ayrılırken, her iki kategori için çıktı verisi olarak yıllık yolcu sayısı alınmış ve 24 sabit otobüs güzergâhı için etkinlik düzeyleri belirlenmiştir.

Wanke vd. (2016), dünya genelinde 285 şehirde farklı ulaşım modlarıyla sağlanan toplu taşıma hizmetlerinin etkinliğini Stokastik Veri Zarflama Analizi (SVZA) ve Beta Regresyon modeliyle belirlemişlerdir. Analizde 2009-2012 yılları arasında farklı taşıma modlarına göre her yıl için belirli bir ulaşım türündeki operatör sayısı, ağ kapsama alanı (km), demiryolu taşıtları filosu sayısı, her ulaşım türü için farklı rota sayısı, çalışan sayısı ve durak sayısı verilerinin girdi olarak kullanıldığı çalışmada yıllık yolcu seyahat sayısı (bin olarak) çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda toplu taşıma hizmetlerinin etkinliklerinin yanı sıra yüksek taşıma kapasiteli taşıma modlarının (raylı sistem) daha öne çıktığı vurgusu yapılmıştır.

Agarwal (2016) Hindistan toplu taşıma sektörünün verimliliğini ve etkinliğini VZA yaklaşımını kullanarak değerlendirdiği çalışmada, aynı girdi kümesine sahip ancak farklı çıktıları olan üç farklı VZA modeli kullanmıştır. Filo büyüklüğü, toplam personel ve yakıt tüketimi tüm VZA modelleri için girdi olarak kullanıldığı çalışmada, verimlilik modeli için çıktı olarak otobüs kullanımı (BU) dikkate alınırken, etkinlik modelinde çıktı ölçüsü olarak yolcu kilometresi (Pass-Km) kullanılmıştır. Verimlilik ve etkinlik arasındaki ilişkiyi incelemek için hem VZA hem de yolcu kilometresini (Pass-Km) çıktı değişkenleri olarak kullanan üçüncü bir VZA modeli

kullanılmıştır. Sonuçlar, verimlilik ve etkinliğin pozitif yönde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Yolcu kilometresi ile kast edilen, her yolcunun kat ettiği mesafelerin kümülatif toplamını temsil eden bir hizmet kullanım ölçüsüdür. Genellikle yolcu yükü ile duraklar arasındaki mesafenin toplanmasıyla hesaplanır.

Güner vd. (2017) çalışmalarında, Sakarya şehir merkezinde toplu taşıma hizmeti vermek üzere kamu (30 otobüs hattı) ve özel sektör (27 minibüs hattı) tarafından işletilen hatların etkinliklerini VZA ile belirleyerek karşılaştırmışlardır. Hizmet süresi, rotasyon süresi ve sefer sayısı verileri olmak üzere üç girdi ve bağlantısız yolculuk süresi verisi olmak üzere tek çıktı ile yapılan analiz sonucunda kamuya ait hatların etkinliklerinin özel sektör hatlarına göre daha düşük etkinlik düzeyinde oldukları belirlenmiştir.

Masoumi ve Öcalır Akunal (2018), Türkiye’deki raylı sistemlerin etkinliklerini VZA ile belirlemişlerdir. Girdi olarak; hat uzunluğu (km), istasyon sayısı, sefer sıklığı (dakika), ticari hız (km/saat) ve şehir nüfusu, çıktı olarak da senelik taşınan yolcu sayısı kullanılan çalışma sonucunda Türkiye’de 11 ilde faaliyet gösteren raylı sistemler için etkinlik artırma yönelik öneriler sunmuşlardır.

VZA kullanılarak birçok farklı işletmenin (üretim/hizmet) ve sektörün etkinliği ölçülebilir. Örneğin; bankaların (Sherman ve Gold, 1985; Luo, 2003; Paradi, Yang ve Zhu, 2011), sağlık hizmetlerinin (Nunamaker, 1983; Worthington, 2004), tarım (Coelli, 1995; Dhungana, Nuthal ve Nartea, 2004; Hansson, 2007), eğitim (Bessent ve Bessent, 1980; Mancebon ve Molinero, 2000; Johnes, 2006; Johnes ve Li, 2008), turizm (Chaabouni, 2019; Wu, Li ve Wang, 2023; Stoiljkovic, Horvat ve Tomic, 2025), taşımacılık (Markovits-Somogyi, 2011; Melo vd., 2018; Mahmoudi vd., 2020).Yapılan literatür araştırmasından da görüldüğü üzere etkinlik ölçümünde VZA sıklıkla kullanılmaktadır.

VZA yönteminin girdi ve çıktıları eşzamanlı analiz etmesi, birden fazla girdi ve çıktı kullanılmasına izin vermesi, farklı birimlerde girdi ve çıktı kullanılmasına olanak tanınması bu çalışmada VZA yönteminin kullanılmasının en önemli sebepleridir.

Veri Zarflama Analizi

Temeli M.J. Farrell (1957) tarafından hazır tarım verileri ile yapılan etkinlik ölçümüne dayanan veri zarflama analizi (VZA), doğrusal programlama tabanlı matematiksel bir etkinlik ölçüm yöntemidir. (Demirci, 2018:3). VZA adını, analiz sonucunda, etkin olmayan KVB, etkin KVB’lerden oluşan bir zarf içerisinde alarak, bu zarf sınırına uzaklığına göre değerlendirmesinden alır (Manavgat ve Demirci, 2020: 266).

Temelde Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilen ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımına göre değerlendirme yapan CCR modeli (1978) ile Banker, Charnes ve Cooper tarafından geliştirilen ve ölçeğe göre değişken getiri varsayımına göre değerlendirme yapan BCC modeli (1984) şeklinde iki modeli bulunmaktadır (Xu vd., 2020: 5). Literatürde yaygın olarak kullanım alanı bulan VZA, üretim süreçleri birbirine benzer olan KVB’lerinin göreceli etkinliklerini, çoklu girdi ve çoklu çıktı durumları için hesaplama yeteneğine sahiptir (Bakırcı, 2006: 167). Modeller arasındaki en önemli farklılık, ölçeğe göre değişken getiri varsayımının sağladığı esnekliğe bağlı olarak etkin KVB sayısının fazla olmasıdır (Demirci, 2018: 85). Yöntem aynı zamanda her iki model için girdi yönelimli ve çıktı yönelimli ölçüm yapabilmektedir (Cooper vd., 2006: 86). Buna göre girdi yönelimli ölçüm, mevcut çıktıları minimum girdi kullanarak elde etmeyi ve çıktı yönelimli ölçüm de mevcut girdilerle maksimum çıktı elde etmeyi dikkate almaktadır (Ergülen vd., 2020: 277). Analiz sonucunda VZA, KVB’leri birbirine görece değerlendirmeye alarak, etkinlik sınırına göre konumlandırır ve her bir KVB için 0 ile 1 arasında bir etkinlik skoru belirler (Charnes vd., 1997: 2-4).

VZA ile etkinlik değerlendirme süreci; KVB’lerinin tanımlanması ve seçilmesi, KVB’lerinin göreceli etkinliklerinin değerlendirilmesi için uygun girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi ve VZA modellerinin uygulanarak sonuçların analiz edilmesi şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır (Golany ve Roll, 1989). Analizde kullanılan girdi ve çıktıları ağırlıklandırarak doğrusal olarak bir araya getiren VZA’nın doğrusal programlama modeli Eşitlik 1-3’teki gibi ifade edilir (Ramanathan, 2003: 38-40);

Amaç Fonksiyonu;

$$\max E_m = \frac{\sum_{j=1}^J v_{jm} y_{jm}}{\sum_{i=1}^I u_{im} x_{im}} \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$0 \leq \frac{\sum_{j=1}^J v_{jm} y_{jn}}{\sum_{i=1}^I u_{im} x_{in}} \leq 1; n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

Pozitif olma şartı;

$$v_{jm}, u_{im} \geq 0; i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J \quad (3)$$

Eşitliklerde yer alan;

E_m , m 'nci KVB etkinliği,

y_{jm} , m 'nci KVB'nin j 'inci çıktısı,

v_{jm} , bir çıktının ağırlık değeri,

u_{im} , bu girdinin ağırlık değeri,

x_{im} , m 'nci KVB'nin i 'nci girdisi,

v_{im} , bu girdinin ağırlık değeri,

y_{jn} ve x_{in} görelilik olarak n 'inci KBV'nin j 'inci çıktı ve i 'nci girdidir.

$n \subset m$ olmak üzere KVB sayısı; $n = 1, 2, \dots, N$ şeklinde ifade edilir.

Uygulama

Kavram olarak etkinlik; mümkün olan minimum girdi kullanılarak mümkün olan maksimum çıktının elde edilmesini ifade etmektedir (Manavgat ve Demirci, 2023:12). Mersin Büyükşehir Belediyesi tarafından sunulan toplu taşıma hizmetinin etkinlik değerlendirmesi yapılan çalışmada, Mersin il nüfusunun yaklaşık %60'ını kapsamına alan Akdeniz, Mezitli, Yenişehir ve Toroslar ilçeleri olmak üzere dört merkez ilçe ele alınmıştır. Bu dört merkez ilçede Mersin Büyükşehir Belediyesi'nce sağlanan toplu taşıma hizmeti 67 otobüs hattı üzerinden sağlanmaktadır. Ancak bu 67 otobüs hattından sadece 28 tanesi dört merkez ilçe kalkışlı ve bitişli hatlardır. Bu sebeple çalışmanın örneklemini dört merkez ilçe kalkışlı ve bitişli olan bu 28 hat oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler Cingöz'ün (2021) doktora tezinden alınmıştır. Bu 28 hat Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Toplu Taşıma hatlarına Ait Bilgiler

Otobüs Hatları	Hatların İsimleri	Otobüs Hatları	Hatların İsimleri
10 M	Makine İkmal-Tece	34 M	MEŞOT-Soli
11 M	MEŞOT-Üniversite	35 M	Makine İkmal-50. Yıl
12 M	Afetevler-Şehir Hastanesi	36 M	Makine İkmal-Eski Mezitli
15 M	Şehir Hastanesi-Tırmıl	44 M	Makine İkmal-Üniversite
16 M	Makine İkmal-Şehir Hastanesi	48 M	Makine İkmal-Tece
18 M	Makine İkmal-Güneykent	55 M	Makine İkmal-Kuyuluk
19 M	Özgürlük Mahallesi-Zeytinkent	69 M	Tırmıl-Üniversite
20 M	Makine İkmal-Arpaç	73 M	MEŞOT-Çilek
26 M	Bağlarbaşı-Mezitli (Soli)	74 M	Tece-Yaşlı Bakım Merkezi
28 M	Tece-Şehir Hastanesi	75 B	Makine İkmal-Dorukkent
29 M	Üniversite-Şehir Hastanesi	75 M	Dorukkent-Çarşı
30 M	Makine İkmal-Soli	76 M	Soli-Şehir Hastanesi
32 M	Şehir Hastanesi-Bağlarbaşı	77 M	Tece-Şehir Hastanesi
33 M	MEŞOT-Soli	78 M	Makine İkmal-Galericiler

Not. Verilen bilgiler Cingöz'ün (2021) doktora tezinden alınmıştır.

Analizlerde kullanılan Başlangıç Matrisi Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Başlangıç Matrisi

Hat No.	Girdi Verileri				Çıktı Verileri	
	Günlük Sefer Sayısı	Durak Sayısı	Otobüs Sayısı	Sefer Aralıkları	Sefer Süresi	Toplam Mesafe
10 M	64	145	7	30	129	51,4
11 M	74	165	6	30	171	60,6
12 M	60	162	6	27,5	176	60,1
15 M	40	111	2	45	95	38,1
16 M	30	94	2	60	92	36,3
18 M	76	102	5	25	95	36,3
19 M	31	88	2	60	88	35,4
20 M	28	103	2	60	89	32,8
26 M	60	220	8	20	204	88,5
28 M	128	212	18	15	208	78,8
29 M	71	134	6	30	116	50,4
30 M	108	74	6	20	84	36
32 M	58	119	6	30	103	61,8
33 M	51	115	4	58	111	43
34 M	39	109	4	20	100	39,3
35 M	30	85	2	60	77	34,6
36 M	64	159	7	30	139	57,5
44 M	31	91	2	60	89	32,1
48 M	26	205	4	60	170	76,1
55 M	23	112	2	67,5	119	44,3
69 M	30	107	2	60	96	43,5
73 M	15	100	1	120	81	39,1
74 M	11	166	1	150	121	62,1
75 B	7	66	1	240	80	32,9
75 M	7	68	1	240	81	37,5
76 M	40	151	2	75	121	62,8
77 M	45	183	6	52,5	158	70,8
78 M	14	53	1	120	88	22,5
Ortalama	45,04	124,96	4,14	66,63	117,18	48,74

Not. Verilen bilgiler Cingöz’ün (2021) doktora tezinden alınmıştır.

VZA ile toplu taşımacılık hizmetinin etkinliğinin ölçümünde, benzer çalışmalarda sıklıkla kullanılan veriler derlenerek analizde kullanılmıştır. Bu kapsamda analizde kullanılan girdi verileri; günlük sefer sayısı, durak sayısı, otobüs sayısı ve sefer aralıkları ile çıktı verileri; sefer süresi ve toplam mesafe şeklinde analize dahil edilmiştir. Çıktı verilerinin sefer süresi ve toplam mesafe seçilmesinin sebebi, yolcuların minimum sürede ve en kısa mesafe ile başlangıç noktalarından varış noktalarına gitmek istemeleridir. VZA’nın CCR ve BCC modelleriyle yapılan analizlerde “Frontier Analyst Application – Versiyon 4.0.0, Banxia Software” programı kullanılmıştır. Şehir içi toplu taşıma hizmetinin yerel yönetimlerce sağlanması ve kâr amacından ziyade toplumsal fayda odaklı bir hizmet şeklinde sunulması nedeniyle çıktıları değil, girdileri ön plana alan girdi yönelimli VZA modelinin uygulandığı analiz sonucunda elde edilen etkinlik skorları Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Etkinlik Skorları

Otobüs Hatları	CCR Etkinlik Skoru	BCC Etkinlik Skoru	Otobüs Hatları	CCR Etkinlik Skoru	BCC Etkinlik Skoru
10 M	85,84	88,29	35 M	92,77	100,00
11 M	97,25	97,42	36 M	86,59	87,96
12 M	100,00	100,00	44 M	88,40	99,62
15 M	96,35	100,00	48 M	100,00	100,00
16 M	93,46	100,00	55 M	100,00	100,00
18 M	85,60	93,34	69 M	97,01	100,00
19 M	95,41	100,00	73 M	94,58	100,00
20 M	80,81	100,00	74 M	100,00	100,00
26 M	100,00	100,00	75 B	100,00	100,00
28 M	100,00	100,00	75 M	100,00	100,00
29 M	86,07	88,30	76 M	100,00	100,00
30 M	100,00	100,00	77 M	94,49	94,58
32 M	100,00	100,00	78 M	100,00	100,00
33 M	88,89	90,08	En Düşük Skor	80,81	87,96
34 M	90,74	100,00	Ortalama	94,80	97,84

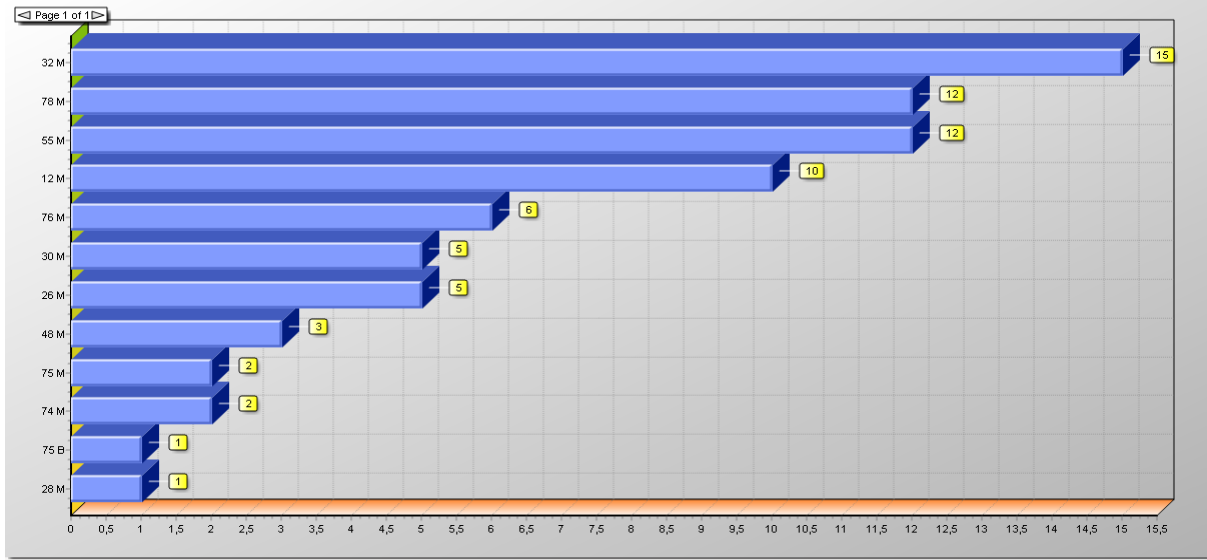
Tablo 3'te sunulan analiz sonuçlarına göre CCR modelinde 12 KVB (otobüs hattı) tam etkinlik skoru elde ederken, BCC modelinde, modelin, kullanılan veri setinin ağırlıklandırılmasında sağladığı esnekliğe bağlı olarak, etkin KVB sayısı artmış ve 20 KVB (otobüs hattı) tam etkin olarak belirlenmiştir. CCR modelindeki etkinlik ortalaması 94,80 ve BCC modelindeki etkinlik ortalaması da 97,84 olarak belirlenmiştir. Bu durum esasen Mersin Büyükşehir Belediyesince sunulan toplu taşıma hizmetinin homojen ve çok iyi seviyede olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Şehir içi toplu taşıma hizmeti için belirlenen 28 hat içerisinde, BCC modeline göre tam etkin olan 20 hat; Afetevler-Şehir Hastanesi (12M), Şehir Hastanesi - Tırmıl (15M), Makine İkmal – Şehir Hastanesi (16M), Özgürlük Mahallesi, Zeytinkent (19M), Makine İkmal – Arpaç (20M), Bağlarbaşı-Mezitli (Soli) (26M), Tece - Şehir Hastanesi (28M), Makine İkmal - Soli (30M), Şehir Hastanesi-Bağlarbaşı (32M), MEŞOT – Soli (34M), Makine İkmal – 50. Yıl (35M), Makine İkmal-Tece (48M), Makine İkmal-Kuyuluk (55M), Tırmıl – Üniversite (69M), MEŞOT – Çilek (73M), Tece - Yaşlı Bakım Merkezi (74M), Makine İkmal - Dorukkent (75B), Dorukkent - Çarşı (75M), Soli - Şehir Hastanesi (76M) ve Makine İkmal - Galerici (78M) şeklinde belirlenmiştir.

Şehir içi toplu taşıma hizmeti için belirlenen 28 hat içerisinde, CCR modeline göre tam etkin olan 12 hat; Afetevler - Şehir Hastanesi (12M), Bağlarbaşı - Mezitli (Soli) (26M), Tece - Şehir Hastanesi (28M), Makine İkmal - Soli (30M), Şehir Hastanesi - Bağlarbaşı (32M), Makine İkmal - Tece (48M), Makine İkmal - Kuyuluk (55M), Tece - Yaşlı Bakım Merkezi (74M), Makine İkmal - Dorukkent (75B), Dorukkent - Çarşı (75M), Soli - Şehir Hastanesi (76M) ve Makine İkmal - Galerici (78M) şeklinde belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre tam etkin olarak belirlenen güzergâhların genellikle ikamet ve işyeri yoğunluğu olan bölgeler ile sağlık ve ulaşım ihtiyacına karşılık gelen bölgeler olduğu belirlenmiştir.

Aynı analiz sonucunda en düşük etkinlik skorunu elde eden hat Makine İkmal - Arpaç (20M) şeklinde belirlenmiştir. Sadece 2 otobüsün hizmet verdiği bu hatta günlük sefer sayısı ortalamadan oldukça altındadır. Bu kısımdan sonra yapılan değerlendirmeler, tekrara yer vermemek için sadece CCR modelinin sonuçlarına göre yapılmıştır.

VZA yönteminin önemli bir olanağı da tam etkinlik skorunu elde edemeyen hatlar için tam etkin hatlar referans olmak üzere potansiyel iyileştirme oranları sunmasıdır. Buna göre CCR modeline göre tam etkin olan hatların referans set sıklık dağılımı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Referans Set Sıklık Dağılımı

Tam etkinlik skorunu elde edemeyen hatların girdilerini hangi oranda azaltmaları ve/veya çıktılarını hangi oranda artırmaları hâlinde tam etkin olabileceklerini belirlemek için referans almaları gereken ve tam etkin hatları ifade eden Referans Set Sıklık Dağılımı değerleri Şekil 1’de görüldüğü gibidir. Şekil 1’e göre 32M hattı, tam etkinlik skorunu elde edemeyen 15 hattın iyileştirilmesi ve tam etkin olabilmesi için referans olmuştur. Aynı şekilde 78M ve 55M hatları on ikişer, 12M hattı 10, 76M hattı altışar, 30M ve 26M hatları beşer, 48M hattı üçer, 75M ve 74M hatları ikişer, 75B ve 28M hatları ise birer tam etkin olmayan hat için referans olmuşlardır.

VZA ile referans setteki KVB’ler dikkate alınarak tam etkinlik skorunu elde edemeyen hatalar için potansiyel iyileştirme önerileri geliştirmek mümkündür. Girdilerin hangi oranda azaltılması ve/veya çıktıların hangi oranda artırılması hâlinde tam etkin olunabileceği anlamına gelen bu iyileştirme önerileri, CCR modeli ile yapılan analizde tam etkinlik skorunu elde edemeyen hatlar için derlenmiş ve Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4. CCR Modeline Göre Günlük Sefer Sayısı, Durak Sayısı ve Otobüs Sayısı için Potansiyel İyileştirme Önerileri

KVB	Etkinlik Skoru	Günlük Sefer Sayısı			Durak Sayısı			Otobüs Sayısı			Sefer Aralıkları		
		Mevcut	Hedef	Potansiyel İyileşme (%)	Mevcut	Hedef	Potansiyel İyileşme (%)	Mevcut	Hedef	Potansiyel İyileşme (%)	Mevcut	Hedef	Potansiyel İyileşme (%)
10 M	85,84	64	54,94	-14,2	145	124,47	-14,2	7	5,23	-25,3	30	25,75	-14,2
11 M	97,25	74	57,02	-22,9	165	160,46	-2,7	6	5,84	-2,7	30	29,18	-2,7
15 M	96,35	40	16,38	-59,1	111	102,42	-7,7	2	1,93	-3,7	45	43,36	-3,7
16 M	93,46	30	21,65	-27,8	94	87,85	-6,5	2	1,87	-6,5	60	56,07	-6,5
18 M	85,60	76	56,94	-25,1	102	87,31	-14,4	5	4,28	-14,4	25	21,40	-14,4
19 M	95,41	31	22,33	-28,0	88	83,96	-4,6	2	1,91	-4,6	60	57,24	-4,6
20 M	80,81	28	18,25	-34,8	103	83,24	-19,2	2	1,62	-19,2	60	48,49	-19,2
29 M	86,07	71	55,28	-22,1	134	115,33	-13,9	6	5,16	-13,9	30	25,82	-13,9
33 M	88,89	51	36,48	-28,5	115	102,22	-11,1	4	3,56	-11,1	58	51,56	-11,1
34 M	90,74	39	33,37	-14,4	109	98,91	-9,3	4	3,63	-9,3	20	18,15	-9,3
35 M	92,77	30	24,37	-18,8	85	78,86	-7,2	2	1,86	-7,2	60	55,66	-7,2
36 M	86,59	64	55,42	-13,4	159	137,68	-13,4	7	5,66	-19,1	30	25,98	-13,4
44 M	88,40	31	19,70	-36,4	91	80,45	-11,6	2	1,77	-11,6	60	53,04	-11,6
69 M	97,01	30	27,57	-8,1	107	103,8	-3,0	2	1,94	-3,0	60	58,21	-3,0
73 M	94,58	15	13,33	-11,1	100	94,58	-5,4	1	0,95	-5,4	120	113,49	-5,4
77 M	94,49	45	42,52	-5,5	183	172,91	-5,5	6	5,08	-15,4	52,5	49,61	-5,5

Tablo 4 incelendiğinde, örneğin 80.81’lik skoruyla en düşük etkinlik seviyesindeki 20M Makine İkmal - Arpaç hattını tam etkinlik seviyesine gelebilmesi için; günlük sefer sayısını 28’den 19’a (%34,8), durak sayısını 103’ten 84’e (%19,2) ve sefer aralıklarını 60’tan 49’a (%19,2) düşürmelidir.

Sonuç ve Değerlendirme

Literatürde VZA gerek kâr amaçlı ve gerekse hizmet amaçlı tüm üretim birimlerinin etkinliklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan ve ürettiği sonuçlarla sadece durum değerlendirmesi değil, geleceğe yönelik bir projeksiyon da ortaya koyabilen bir yöntemdir. Bu yönüyle özellikle kâr amacı gütmeyen ve sosyal devlet anlayışının bir göstergesi olarak kamu hizmeti şeklinde sunulan hizmetlerin etkinlik düzeylerinin belirlenmesinde ayrıca önem arz etmektedir. Zira kâr beklentisi olmayan, ancak kısıtlı kaynaklarla halka ulaştırılmaya çalışılan bu tür hizmetlerde girdilerin kontrolü önemlidir.

Bu kapsamda, VZA’nın uygulandığı çalışmada kaynak kullanım etkinliğinin değerlendirilmesi açısından girdi yönelimli analiz uygulanmıştır. Mersin Büyükşehir Belediyesi tarafından 4 merkez ilçede, 28 hat üzerinden sunulan toplu taşıma hizmetinin etkinliklerinin belirlendiği çalışmada ölçeğe göre sabit getiri (CCR modeli) ve ölçeğe göre değişken getiri (BCC modeli) durumları için etkinlik skorları elde edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda Mersin Büyükşehir Belediyesi tarafından sunulan toplu taşıma hizmetinin etkinlik ortalaması CCR modelinde 94,80 ve BCC modelinde 97,84 olarak belirlenmiştir. Buna göre esasen sunulan toplu taşıma hizmetinin etkinlik düzeyi oldukça iyi kabul edilmektedir. Etkinlik skorları incelendiğinde; tam etkinlik skoruna ulaşan hatları, özellikle yaşam bölgeleriyle iş merkezleri arasındaki hatlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Aynı şekilde bölge halkının sağlık ve şehirlerarası ulaşım için yoğun olarak kullandığı hatların da tam etkin olduğu analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır.

VZA ayrıca tam etkinlik skoru elde edemeyen KVB’ler için potansiyel iyileştirme önerileri de sunmaktadır. Buna göre etkin olmayan KVB’ler için etkin KVB’lerden referans setler oluşturulmuş ve yapılan kıyaslama sonucunda, etkin olmayan KVB’lerin etkin olabilmeleri için girdilerini hangi oranlarda azaltmaları ve/veya çıktılarını hangi oranda artırmaları gerektiği de ortaya konabilmektedir. Analizlerin girdi yönelimli modelle yapıldığı dikkate alınırsa çalışma sonucunda etkin olmayan hatların girdilerini hangi oranda azaltmaları durumunda etkin hâle gelecekleri belirlenmiştir. Bu noktada hizmetin kamu amaçlı olması, gelir elde etmekten ziyade halkın memnuniyetinin ve ihtiyaçlarının giderilmesi ön planda olduğu gerçeğiyle karşılaşılmaktadır. Zira bazı hatların etkin olmaması nedeniyle, sadece etkin olmaları için girdileri kısmının, ihtiyaçların giderilmesinde aksamalara yol açacağı ve halkın memnuniyetsizliğine neden olacağı da göz ardı edilmemelidir. Ancak burada söz konusu olan kısıtlı kaynakların etkin kullanımı olduğuna göre, etkin olmayan hatlarda da gerekli düzenlemenin yapılabileceğinin ve etkinliklerini artırıcı çabalar için hedef noktalarının belirlenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Belediye otobüs hatları genel olarak hafta içi sabah erken saatlerde – ki bu saatler genel olarak çalışanların işe ve öğrencilerin okula/dershaneye gittiği saatlerdir – ve akşam öğleden sonra okul/dershane çıkış saatleri ile iş çıkış saatlerinde daha yoğun olmaktadır. Bu doğrultuda gelecekte yapılacak çalışmalarda, hafta içi ve hafta sonu ayrımı yapılarak genellikle “peak hour” olarak adlandırılan bu yoğun saatler ile yoğun saatler dışında kalan normal saatlerin etkinlik analizi birbirinden ayrı olarak yapılabilmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırma, yazarlık ve/veya yayın süreci ile ilgili herhangi bir potansiyel çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Mali Destek

Yazarlar bu makalenin araştırılması, yazılması ve/veya yayınlanması için herhangi bir mali destek almamıştır.

Yayın Etiği Beyanı

Çalışmada etik dışı bir husus bulunmadığını, araştırma ve yayın etiğine özenle uyulduğunu beyan ederiz.

Yazar Katkı Oranı

Çalışma, araştırmacılar arasında eşit bir işbirliği ile yürütülmüş ve raporlanmıştır.

Etik Kurul İzni

Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Kaynakça

- Agarwal, S. (2016). Evaluation of efficiency and effectiveness of public transport sector of india using dea approach. *Data Envelopment Analysis and its Applications*, 73-83.
- Ali, I. A., & Lerme, C. S. (1997). Comparative advantage and disadvantage in DEA. *Annals of Operations Research*, 73(0), 215-232.
- Bakırcı, F. (2006). *Üretimde etkinlik ve verimlilik ölçümü, veri zarflama analizi, teori ve uygulama*. Atlas Yayınları.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Bessent, A. M., & Bessent, E. W. (1980). Determining the comparative efficiency of schools through data envelopment analysis. *Educational Administration Quarterly*, 16(2), 57-75. <https://doi.org/10.1177/0013161X8001600207>
- Caulfield, B., Bailey, D., & Mullarkey, S. (2013). Using data envelopment analysis as a public transport project appraisal tool. *Transport Policy*, 29, 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.04.006>
- Chaabouni, S. (2019). China's regional tourism efficiency: A two-stage double bootstrap data envelopment analysis. *Journal of Destination Marketing & Management*, 11, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2017.09.002>
- Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., & Seiford, L.M. (1997). *Data envelopment analysis: Theory, methodology and application*. Kluwer Academic Publishers.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cingöz, K. (2021). *Toplu taşıma araçlarını çizelgeleme problemine simülasyon modeli yaklaşımı: Mersin Büyükşehir Belediyesi örneği* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Mersin Üniversitesi.
- Coelli, T. J. (1995). Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 39(3), 219-245. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.1995.tb00552.x>
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Tone, K. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses – with DEA-Solver software and references*. Springer Science&Business Media, New York.
- Daraio, C., Diana, M., Di Costa, F., Leporelli, C., Matteucci, G., & Nastasi, A. (2016). Efficiency and effectiveness in the urban public transport sector: A critical review with directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.059>
- Demirci, A. (2018). *Teori ve uygulamalarla veri zarflama analizi*. Gazi Kitabevi.
- Dhungana, B. R., Nuthall, P. L., & Nartea, G. V. (2004). Measuring the economic inefficiency of Nepalese rice farms using data envelopment analysis. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 48(2), 347-369. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2004.00243.x>
- Ergülen, A., Bolayır, B., Ünal, Z., & Harmankaya, İ. (2020). Covid-19 sürecinde Türkiye'nin etkinliğinin veri zarflama analizi ile değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 11(Ek): 275-286.
- Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3): 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>

- Golany, B., & Roll, Y. (1989). An Application procedure for DEA. *International Journal of Management Science*, 17 (3): 237-250. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(89\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0305-0483(89)90029-7)
- Güner, S., Taşkın, K., & Gürler, G. (2017). Şehir içi toplu taşıma hatlarının hizmet etkinliğinin veri zarflama analizi ile ölçülmesi: özel ve kamu işletmelerinin karşılaştırılması. *İşletme Bilimi Dergisi (JOBS)*, 5(3): 127-145. <https://doi.org/10.22139/jobs.339869>
- Hansson, H. (2007). Strategy factors as drivers and restraints on dairy farm performance: Evidence from Sweden. *Agricultural Systems*, 94(3), 726-737. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.03.002>
- Hawas, Y.E., Khan, M., & Basu, N., 2012. Evaluating and enhancing the operational performance of public bus systems using GIS-based data envelopment analysis. *Journal of Public Transportation*, 15 (2), 2. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.15.2.2>
- Huang, W., Shuai, B., Sun, Y., Wang, Y., & Antwi, E. (2018). Using entropy-- TOPSIS method to evaluate urban rail transit system operation performance: The China case. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 111, 292— 303. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.03.025>
- Johnes, J. (2006). Data envelopment analysis and its application to the measurement of efficiency in higher education. *Economics of Education Review*, 25(3), 273-288. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2005.02.005>
- Johnes, J., & Li, Y. U. (2008). Measuring the research performance of Chinese higher education institutions using data envelopment analysis. *China Economic Review*, 19(4), 679-696. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2008.08.004>
- Lao, Y., & Liu, L. (2009). Performance evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographic information systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(4), 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.01.005>
- Luo, X. (2003). Evaluating the profitability and marketability efficiency of large banks: An application of data envelopment analysis. *Journal of Business Research*, 56(8), 627-635. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(01\)00293-4](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(01)00293-4)
- Mahmoudi, R., Emrouznejad, A., Shetab-Boushehri, S. N., & Hejazi, S. R. (2020). The origins, development and future directions of data envelopment analysis approach in transportation systems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69, 100672. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.11.009>
- Mancebon, M. J., & Molinero, C. M. (2000). Performance in primary schools. *Journal of the Operational Research Society*, 51(7), 843-854. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600980>
- Manavgat, G., & Demirci, A. (2023). Comparing the efficiency of technology and innovation of the EU and selected countries: The effects of EU framework programs. *International Journal of Innovation - IJI*, 11(2): 1-32. <https://doi.org/10.5585/2023.23741>
- Manavgat, G., & Demirci, A. (2020). Decentralization matter of healthcare and effect on regional healthcare efficiency: evidence from Turkey. *Sosyoekonomi*, 28(44): 261-282. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2020.02.12>
- Markovits-Somogyi, R. (2011). Measuring efficiency in transport: the state of the art of applying data envelopment analysis. *Transport*, 26(1), 11-19. <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.555500>
- Masoumi, M., & Öcalır Akinal, E.V. (2018). Türkiye'deki kent içi raylı ulaşım sistemlerinin performanslarının veri zarflama analizi ile karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(4): 971-975. <https://doi.org/10.2339/politeknik.39179>
- Melo, I. C., Junior, P. N. A., Perico, A. E., Guzman, M. G. S., & Rebelatto, D. A. D. N. (2018). Benchmarking freight transportation corridors and routes with data envelopment analysis (DEA). *Benchmarking: An International Journal*, 25(2), 713-742. <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2016-0175>
- Naim, M. N. H., Adnan, M. S. G., Dewan, A., & Zannat, K. E. (2022). Assessing the performance of public transport services in a developing country: A case study using data envelopment analysis. *Growth and Change*, 53(1), 377-409. <https://doi.org/10.1111/grow.12588>

- Nunamaker, T. R. (1983). Measuring routine nursing service efficiency: a comparison of cost per patient day and data envelopment analysis models. *Health Services Research*, 18(2 Pt 1), 183.
- Paradi, J. C., Yang, Z., & Zhu, H. (2011). Assessing bank and bank branch performance: modeling considerations and approaches. In *Handbook on data envelopment analysis* (pp. 315-361). Boston, MA: Springer US.
- Pedroso, G., Bermann, C., & Sanches-- Pereira, A. (2018). Combining the functional unit concept and the analytic hierarchy process method for performance assessment of public transport options. *Case Studies on Transport Policy*, 6(4), 722– 736. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.09.002>
- Ramanathan, R. (2003). *An Introduction to data envelopment analysis – A tool for performance measurement*. Sage Publications.
- Rezaee, M.J., Izadbakhsh, H., & Yusefi, S. (2015). An improvement approach based on DEA-Game theory for comparison of operational and spatial efficiencies in urban transportation systems. *KSCIE Journal of Civil Engineering*, 20(4): 1526-1531. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0345-9>
- Saatçioğlu, C., & Yaşarlar, Y. (2012). Kentiçi ulaşımında toplu taşımacılık sistemleri: İstanbul örneği. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(3). 117-144.
- Sanchez, I.M.G., (2009). Technical and scale efficiency in spanish urban transport: estimating with data envelopment analysis. *Advances in Operations Research*, Volume: 2009: 1-15. <https://doi.org/10.1155/2009/721279>
- Sherman, H. D., & Gold, F. (1985). Bank branch operating efficiency: Evaluation with data envelopment analysis. *Journal of Banking and Finance*, 9(2), 297-315.
- Stoiljković, A., Marcikić Horvat, A., & Tomić, S. (2025). Assessing the tourism efficiency of european countries using data envelopment analysis: A sustainability approach. *Sustainability*, 17(4), 1493. <https://doi.org/10.3390/su17041493>
- Tarudin, N. F., Sazalie, N. N., Adlan, M. A. A., & Abd Rashid, M. F. (2021, November). Assessing the Effectiveness of Using Cashless System for Public Transport Bus Service in Sub-Urban City. In *2021 IEEE 11th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)* (pp. 326-330). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSET53708.2021.9612529>
- Tomas, J., & Rahman, A. N. A. (2022, February). The effectiveness of public transport system. In *Proceedings of the Third International Conference on Trends in Computational and Cognitive Engineering: TCCE 2021* (pp. 247-256). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Wanke, P., Barros, C. P., & Figueiredo, O. (2016). Efficiency and productive slacks in urban transportation modes: A two-stage SDEA-Beta regression approach. *Utilities Policy*, 41, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.04.007>
- Wei, J., Xia, W., Guo, X., & Marinova, D. (2013). Urban transportation in Chinese cities: An efficiency assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 20-24. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.03.011>
- Worthington, A. C. (2004). Frontier efficiency measurement in health care: a review of empirical techniques and selected applications. *Medical Care Research and Review*, 61(2), 135-170. <https://doi.org/10.1177/1077558704263796>
- Wu, D., Li, H., & Wang, Y. (2023). Measuring sustainability and competitiveness of tourism destinations with data envelopment analysis. *Journal of Sustainable Tourism*, 31(6), 1315-1335. <https://doi.org/10.1080/09669582.2022.2042699>
- Vaidya, O. S. (2014). Evaluating the performance of public urban transportation systems in India. *Journal of Public Transportation*, 17(4), 174-191. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.17.4.10>
- Xu, T., You, J., Li, H., & Shao, L. (2020). Energy efficiency evaluation based on data envelopment analysis: A literature review. *Energies*, 13(14), 3548. <https://doi.org/10.3390/en13143548>

EXTENDED SUMMARY

People rely on public transportation services to carry on with their daily routines—commuting to work, school, shopping, and social activities. These services are provided either directly by municipalities or by private individuals or companies authorized by them. Buses are the most widely used mode of public transportation worldwide. Operated primarily by municipal authorities, they tend to be more affordable than other forms of public transit and offer a broader coverage area. Consequently, the number of routes is typically high, and the network is designed to span the entirety of the city.

The high number of routes, the extensive reach of the network, and the non-profit nature of bus operations force municipalities to monitor the efficiency of these services closely. Input variables often include the number of lines in use, the number of stops per line, the frequency of bus services, and the number of buses assigned per line. On the other hand, output variables generally encompass occupancy rates, travel time, and route lengths (in kilometers). Municipalities striving for efficient use of bus lines aim to provide maximum coverage with minimal buses and lower service frequency. However, this goal conflicts with passenger satisfaction, as fewer buses and longer intervals between trips result in longer waiting times at stops and longer in-vehicle travel times. Therefore, decision-makers must balance between operational efficiency and user satisfaction.

In this context, the present study aims to evaluate the efficiency of public transportation services offered by the local administration across 28 bus routes in the four central districts of Mersin (Akdeniz, Mezitli, Toroslar, and Yenişehir). To assess the effectiveness of these routes, Data Envelopment Analysis (DEA) was employed using an input-oriented model with constant returns to scale.

The concept of efficiency refers to the attainment of the maximum possible output using the minimum necessary input (Manavgat & Demirci, 2023:12). In this study assessing the efficiency of public transportation services provided by Mersin Metropolitan Municipality, four central districts—Akdeniz, Mezitli, Yenişehir, and Toroslar—comprising approximately 60% of Mersin's population, were examined.

A comprehensive review of the literature revealed numerous studies aimed at evaluating the efficiency of public transport services. While the literature section elaborates on several of these, it was observed that many studies rely on a single output variable despite the presence of multiple input factors influencing efficiency. Although this practice is not ideally suited to DEA methodology, two output variables despite a high correlation coefficient of 0.90 were utilized in this study.

The initial dataset was constructed for the analysis frequently used indicators from similar studies were compiled and included in the analysis. The input variables were: daily number of trips, number of stops, number of buses, and frequency. The output variables were: trip time and total distance covered. The analysis was conducted using the Frontier Analyst Application – Version 4.0.0 by Banxia Software, applying both the CCR and BCC models of DEA. Since municipal public transportation services are driven more by public benefit than profit, an input-oriented DEA model was selected to prioritize the minimization of resource use.

12 DMUs (bus routes) achieved full efficiency under the CCR model. Due to the BCC model's greater flexibility in weight distribution, the number of fully efficient routes increased to 20. The average efficiency score was 94.80% in the CCR model and 97.84% in the BCC model, indicating a high and relatively uniform level of service by Mersin Metropolitan Municipality.

Among the 28 analyzed routes, the following 12 were fully efficient according to the CCR model: Afetevler–City Hospital (12M), Bağlarbaşı–Mezitli (Soli) (26M), Tece–City Hospital (28M), Makine İkmal–Soli (30M), City Hospital–Bağlarbaşı (32M), Makine İkmal–Tece (48M), Makine İkmal–Kuyuluk (55M), Tece–Elderly Care Center (74M), Makine İkmal–Dorukkent (75B), Dorukkent–City Center (75M), Soli–City Hospital (76M), Makine İkmal–Car Dealers' Area (78M).

These routes largely correspond to areas with dense residential and workplace populations, as well as regions with significant healthcare and transportation demands. Conversely, the route with the lowest efficiency score was Makine İkmal–Arpaç (20M), which is serviced by only two buses and operates well below the average number of daily trips. To avoid redundancy, subsequent evaluations were based solely on the CCR model results.

One of the key advantages of DEA is its ability to suggest improvement potentials for inefficient routes, using fully efficient routes as benchmarks. Fully efficient lines that should be taken as a reference in order to determine the extent to which the inputs of the inefficient lines must be reduced and/or their outputs increased for them

to achieve full efficiency, the 32M line has served as a reference for improving 15 lines that failed to achieve a full efficiency score, guiding them towards full efficiency. Similarly, the 78M and 55M lines each acted as a reference for 12 inefficient lines, the 12M line for 10, the 76M line for 6, the 30M and 26M lines for 5 each, the 48M line for 3, the 75M and 74M lines for 2 each, and finally, the 75B and 28M lines each served as a reference for 1 inefficient line. Using these benchmark routes, potential improvements can be proposed for the inefficient lines.