



## Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemi Performansının Farklı Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Hatice Gül ÖNDER\*<sup>1</sup>, Furkan AKDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Tapu Kadastro Yüksekokulu, Emlak ve Emlak Yönetimi Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara, Türkiye

\*gul.onder@hbv.edu.tr

(Alınış/Received: 24.11.2023, Kabul/Accepted: 29.12.2023, Yayınlama/Published: 31.01.2024)

**Öz:** Kent içi raylı ulaşım yatırımları, arazileri erişebilirlik bağıyla birbirine bağlayan ve değerli kent arazisini tüketen bir arazi kullanım kararıdır. Yatırımların büyük bütçeler gerektirmesinden kaynaklı olarak hem ekonomik hem de çevresel perspektifte yerel otoriteler birçok kaynağı rasyonel bir tutum içinde harcamak durumundadır. Bu nedenle, kent içi raylı ulaşım yatırımlarının ve verimliliklerinin periyodik olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bu kontrolü sağlayabilecek ve mevcut performans durumunu anlamak için bir yöntem önerisi yapılmaktadır. Çalışmada, kent içi raylı toplu ulaşım sistemi değerlendirilirken kullanılan performans göstergeleri, güncel literatür incelenerek hazırlanmıştır. Daha sonra söz konusu göstergeler, halihazırda Ankara ve İstanbul'da faaliyet gösteren kentsel raylı sistem performansının niceliksel değerlerinin bulunması amacıyla çok ölçütlü karar verme yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Literatür kapsamında yapılan incelemeye göre, toplam hat uzunluğu, filo büyüklüğü, ortalama istasyon mesafesi, istasyon sayısı, maksimum yolcu kapasitesi, minimum frekans, yolculuk mesafesi, yolculuk süresi, ücret, ticari hız, araç için yolcu kapasitesi ve çalışma saatlerinin başlıca değerlendirme kriterleri olduğu tespit edilmiştir. Gri ilişkisel analiz, ARAS, COPRAS, Entropi tekniklerine göre, kent içi raylı sistem ve ulaşım sektöründe çalışan kişiler ile uygulama yapılmıştır. Entropi yöntemi uzman görüşüne alternatif oluşturması açısından değerlendirilirken diğer yöntemler çok ölçütlü karar verme problemi açısından daha fazla çeşitlilikte ideal raylı sistemin performansının test edilmesi ve ideallik durumunun sağlanması için kullanılmaktadır. Teknikler bazında yapılan karşılaştırma ile çalışma konusu olan raylı sistem hatları performans açısından değerlendirilmiştir. İncelenen 14 şehir içi toplu taşıma hattı arasında Ankara'da bulunan hatların her zaman en iyi performans gösteren ilk 5 hat arasında yer aldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çok ölçütlü karar verme, Gri ilişkisel analiz, Kent içi toplu taşıma

### Comparative Evaluation of Urban Rail Public Transportation System Performance with Different Multi-Criteria Decision-Making Techniques

**Abstract:** Urban rail transportation investments are a land use decision that connects lands with accessibility and consumes valuable urban land. Since investments require large budgets, local authorities have to spend many resources in a rational manner, both from an economic and environmental perspective. In this study, a method is proposed to provide this control and to understand the current performance status. se indicators were used in Multi-Criteria Decision Methods techniques to find quantitative values of the performance of the urban rail system currently operating in Ankara and Istanbul. From the literature, it has been determined that total line distance, fleet size, average station distance, number of stations, maximum passenger capacity, minimum frequency, travel distance, travel time, fare, commercial speed, passenger capacity for the vehicle, and operating hours are the main evaluation criteria. According to gray relational analysis, ARAS, COPRAS, Entropy techniques, the application was made with people working in the urban rail system and transportation sector. While the Entropy method is evaluated as an alternative to expert opinion, other methods are used to test the performance of a wider variety of ideal rail systems and ensure ideality in terms of multi-criteria decision-making problems. With the comparison made on the basis of techniques, the rail system lines that are the subject of the study were evaluated in terms of performance.

Atıf için/Cite as: H.G. Önder, F. Akdemir, "Kent içi raylı toplu taşıma sistemi performansının farklı çok ölçütlü karar verme teknikleri ile karşılaştırmalı değerlendirilmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 19, pp. 184-196, Jan. 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1395294

Among the 14 urban public transport lines examined, it was determined that the lines in Ankara are always among the top 5 performing lines.

**Keywords:** Multi criteria decision making, Gray relational analysis, Urban public transport

## 1. Giriş

Ulaşım kavramı, insan, mal ve arazi kullanımı arasındaki fiziksel mekân bağlantısını sağlayan kentsel sistemin önemli bileşenlerinden biridir [1]. İnsanlar mevcut veya tahmin edilen potansiyeller doğrultusunda kentsel araziye çeşitli işlevler yüklemektedir [2]. Bu mekânlar işlevlerine uygun olarak kent insanının yaşamına yönelik sosyal, ekonomik, kültürel vb. özelliklere sahiptir. Zaman zaman gerçekleşen insan faaliyetleri sonucu, mekânlar arasında insan ve malların dolaşımı ve hareketi meydana gelmektedir. Gelişen teknolojiler sayesinde ulaşım, kentsel alanda mekânsal etkileşim için daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu durumun en yaygın örneklerinden biri, günümüzde pek çok insanın yaşadığı kentte, toplu taşıma hizmet sistemlerinin ulaşım talebine cevap verecek şekilde yapılandırılması olarak ortaya çıkmaktadır. [3]. Teknolojideki gelişmelerin ışığında, birim zamanda daha fazla insan ve malın bir noktadan başka bir noktaya taşınmasına yönelik, alternatif olarak yeni toplu taşıma sistemi arayışları gelişmeye devam etmektedir [4].

Bir yerin işlevi gereği daha fazla insan için çekim noktası haline gelmesi, bölge ve yakın çevresine yönelik birim zaman başına seyahat talebini artırmaktadır. Bazı kişiler ulaşım araçlarını yaygın olarak kullanarak bu cazibesi yüksek bölgelere ulaşabilmekte, bazı kişiler ise kullanımı daha rahat, esnek ve hızlı olan özel araçlarıyla ulaşım gerçekleştirmektedir [5].

Bir toplu taşıma sisteminin ulaşabildiği yerlere gitmek isteyen kişilerin toplu taşıma faaliyetlerini birlikte yürütmesi, şehir içi toplu taşıma olarak tanımlanabilir [6]. Kent içi toplu ulaşım yatırımları birim zamanda daha fazla seyahat talebine yönelik hareket sağlamaktadır. Bu hizmetin maksimum verimi elde edebilmesi için ileri teknoloji gerektiren bir sistem tasarımı içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu hususlardan dolayı toplu taşıma sistemleri, bireysel araç kullanımı gibi özel ulaşım alternatif olarak teknolojik açıdan daha karmaşık ve çok maliyetli bir yatırım konumundadır. İnsanların mekanlar arasında hareket etmesini sağlayan kentsel toplu taşıma yatırımları, bahsedilen özellikleri nedeniyle yönetim otoriteleri aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir [7]. Diğer taraftan özel araçlar bir toplumda herkesin ekonomik olarak karşılayabileceği bir ulaşım aracı değildir [8]. Dolayısıyla daha fazla kişiye ekonomik açıdan makul bir ulaşım hizmeti sunabilen, sosyal ve çevresel açıdan özel araçlara göre pek çok faydaya sahip olan toplu taşıma sistemleri, kentsel sistemin vazgeçilmezidir.

Birim zamanda daha fazla yolcunun yer değiştirmesinde etkili olan şehir içi toplu taşıma sistemleri farklı türlere ayrılmaktadır. Kent içi ulaşım sistemleri genel olarak esneklik, fiyat, konfor, kapasite, enerji tüketimi, yatırım ve işletme maliyetleri, emisyonlar ve kaza riski açısından farklı özelliklere sahip araç ve bileşenlerin organizasyonundan oluşmaktadır. Bunların en bilinen örnekleri arasında lastik tekerlekli toplu taşıma sistemleri ve raylı toplu taşıma sistemleri yer almaktadır. Raylı toplu taşıma sistemi esnek olmayan bir güzergahta ilerleyen, kaza riski daha az olan, yolculuk süresi sabit, güvenli, konforlu, çevre dostu, kapasitesi yüksek, kişi başı enerji tüketimi ve emisyon üretimi düşük, ulaşımı kolay, gelişmiş bir sistemdir [9]. Kent içi raylı sistemler, bölgeyi ve yakın çevresini ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan etkileyebilecek bir ulaşım hizmetidir. Hizmetin nitelik ve nicelik yönü kent içi raylı sistemlerin performans açısından birbirinden farklılaşmasını sağlamaktadır. Kent içi raylı sistemin çevreye olan mekânsal etkileri dış boyutları; kullanıcı olarak insanlar üzerindeki etkileri ise iç boyutları olarak ifade edilebilir. Kent içi raylı sistemlerin iç boyutları, hizmet açısından teknik nitelikleriyle iç içedir. Örneğin, daha yüksek kapasiteli bir raylı sistem daha fazla ulaşım talebini karşılayacak, oturan yolcular için daha yüksek kapasiteli bir raylı sistem ise daha konforlu bir ulaşım hizmeti sunacaktır.

Günümüzde kent içi raylı toplu taşıma sistemleri teknolojik gelişmelerden etkilenerek ulaşım bağlamında alternatiflerin sağlandığı alanlardan biri olarak gelişmeye devam etmektedir. Çeşitliliği oluşturduğu bilinen bu unsurlardan en önemlileri tramvay, hafif raylı sistem ve metro yatırımları, kent içi ulaşımın iyileştirilmesinde önemli alternatiflerdendir [9]. Kent içi raylı sistemler çok boyutlu olduğundan, performans kıyaslaması yaparken, çok kriterli unsurları kullanacak yaklaşımlarla değerlendirilmelidir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında hem uzman görüşüne dayalı hem de kriterin önem sırasına göre sıralama yapabilen Gri İlişkisel Analiz, Entropi, ARAS, COPRAS gibi çok kriterli değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada bu yöntemler aracılığıyla kentsel raylı sistemlerin performansı ve kriterlerin önem derecesi incelenmektedir.

Kent içi raylı sistemlerin sunduğu ulaşım hizmetinin çok yönlü faydalara sahip olması, performansının ölçülmesi açısından onu önemli bir araştırma konusu haline getirmektedir. Literatürde kent içi raylı sistemin sunduğu hizmetin performansına ilişkin benzer ölçüm çalışmaları Tablo 1’de detaylıca incelenmiştir.

**Tablo 1.** Kent İçi Raylı Sistem Performansını Değerlendiren Çalışma Örnekleri

Çalışma Adı	Servis Performans Ölçütü
Kent İçi Ulaşım Sistemlerine İlişkin Tercihlerin ve Tercihlere Etki Eden Faktörlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Değerlendirilmesi [10]	Sistem Hızı
	Erişim
	Ücret
	Çevresel Hassasiyet
	Kaza Olması Olasılığı
Kent İçi Raylı Ulaşım Performansını Değerlendirmede Swara ve Aras Yöntemleri ile Bir Model Önerisi [11]	Servis Sıklığı
	Toplam Hat Uzunluğu
	Filo
	Ortalama İstasyon Mesafesi
	İstasyon Sayısı
Quality Attributes of Public Transport That Attract Car Users: A Research Review [12]	Maksimum Yolcu Kapasitesi
	Servis Sıklığı
	Güvenirlilik
	Ücret
	Araç Yaşı
Evaluation of Public Transport Performance in the Jombang District [13]	Sistem Hızı
	Servis Sıklığı
	Yolculuk Süresi
	Araç Sayısı
	Kapasite
Evaluating Public Transit Benefits and Costs [14]	Hat Uzunluğu
	Zirve Saat Yolcusu
	Bakım Maliyeti
	İşletme Saati
	İşletme Frekansı
A Multiple Criteria Approach for the Evaluation of the Rail Transit Networks in Istanbul [21]	Araç İşletme Maliyeti
	Toplam Yolculuk Süresi
	Kaza Maliyeti
	Bakım İşletme Maliyeti
	İşletme Frekansı
An Integrated Decision Support Model for Evaluating Public Transport Quality [22] (Toplu Taşıma Sistemleri Üzerine)	Yolculuk Süresi
	Bekleme Süresi
	Konfor
	Sistem Hızı

Kent içi raylı sistemler, ulaşım ile ilgili sorunların çözümünde önemli bir alternatif olsa da bu alternatifin sağladığı hizmetin performans açısından değerlendirilmesi, sistemin etkinliğinin ve verimliliğinin anlaşılması ihtiyacı zaman zaman ortaya çıkmaktadır. Bu gereklilik, sistemin hem hizmet sağlayıcı hem de tüketici üzerinde sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerinin olması gerçeğine dayanmaktadır. Kent içi raylı sistemin çok boyutlu olması, söz konusu değerlendirme için çok kriterli problemleri çözebilecek tekniklerin kullanılmasını gerektirmektedir. Yapılan araştırmalar, toplu taşıma sistemleri için çok kriterli problemin çözümünü sağlayan tekniklerin hem planlama aşamasında hem de projenin performansının ölçülmesinde kullanılmasını araştırmacılara, uygulayıcılara ve karar vericilere fikir verebileceğini göstermektedir. Kent içi raylı sistem koridor planlama yaklaşımının çok kriterli karar verme yöntemleri ile geliştirilmesi, çalışması buna örnek olarak verilebilir [15] [25] [26]. Tabloda yer alan kriterler çalışma için temel referans noktalarının bir kümesidir. Metodoloji bölümünde bu kümede yer alan ve raylı sistemler bazında verisi elde edilebilen kriterler değerlendirilmiştir.

Görüldüğü üzere kent içi raylı sistemlerin performansını ortaya koyan hususlar birbirinden farklı sayısal birimlere yöneliktir. Frekans konusunda zaman odak noktası iken bakım maliyetinde ekonomik rakamlar, yolcu kapasitesinde ise yolcu sayısı birimi baz alınmaktadır. Bundan dolayı farklı birimleri karar vermede karşılaştırma yapmak için sayısal bir değere indirgeme kabiliyetine sahip metotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda literatürde olduğu şekliyle çok ölçütlü değerlendirme metotları bu çalışmada da kullanılmaktadır. Raylı sistemler günlük işletme aktivitelerinden dolayı örneğin her gün aynı miktarda yolcu taşınmamaktadır. Belirsiz yanları olan karar verme problemi çözümü için bu çalışmada Gri İlişkisel Analiz bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Uzman görüşü durumuna alternatif olarak Entropi yönteminin objektif kriter ağırlığı değerlendirebilmesi durumundan faydalanılmıştır. Çalışmada ideal olan raylı sistem durumu ile bir kıyas yapabilmek için ARAS yöntemi kullanılmıştır. Havayollarında kalite ölçme amaçlı kullanılan COPRAS yönteminin farklı bir ulaşım sektöründe nasıl bir tepki vereceğini görmek için ise deneysel bir kullanımı değerlendirilmiştir. Metodolojik çeşitlilikte genel olarak fazla yöntem kullanılması en iyi sistemin bulunmasının bir diğer sağlamasını yapmak içindir.

Çalışmanın literatüre katkısı ampirik perspektiftedir. Raylı sistemlerin değerlendirmesinde yatırımın yapılabilir olarak görülmesi açısından önemli bir yere sahip olan yolculuk sayısı değişkeninin haricinde hizmeti etkileyen diğer kriterlerinde hizmet için farklı düzeylerde önem arz ettiği durumu deneysel olarak test edilmektedir. Bunun haricinde daha önce raylı sistemler kapsamında değerlendirilmeyen çok ölçütlü karar verme teknikleri bir yenilik olarak bu çalışmada kullanılmaktadır. Bu noktada bir diğer yenilik olarak birçok ölçütlü değerlendirmenin sonuç değeri, farklı çok ölçütlü değerlendirme teknikleri bir araya getirilerek uzman görüşü – sayısal değerler – optimal durum arası sağlama yapmaya yarayan yeni bir yaklaşım sentezlenmektedir.

Tercihlerin ve tercihleri etkileyen faktörlerin analitik hiyerarşi süreç yöntemi ile değerlendirilmesi çalışması benzer çok ölçütlü değerlendirme örneklerindedir [16]. Türkiye'deki Kent İçi Raylı Sistemlerin Veri Zarf Analizi ile Performanslarının Karşılaştırılması buna örnek olarak verilebilecek diğer bir çalışmadır [17].

## 2. Metot

Bu çalışmada kent içi raylı sistemler üzerinde durulmasının en önemli nedenleri, ekonomik, sosyal, çevresel açıdan kent yaşamına çok boyutlu etkileri olmasıdır. Kent içi raylı ulaşım yatırımları halen modern çağda oldukça pahalı olduğundan, bunların izlenmesi, değerlendirilmesi ve kentsel yaşam kalitesine katkı sağlayıp sağlamadığının anlaşılması gerekmektedir. Bu sistemlerin dinamiklerini anlamak önemlidir çünkü modern dünyada kaynaklar tam anlamıyla sınırlıdır ve her geçen gün daha da azalmaktadır. Bu nedenle kentsel otoritelerin, kentsel ulaşım sistemlerine, özellikle de raylı sistem altyapısına sahip olanlara ilişkin önemli kavramları anlamaları gerekmektedir. Kent içi raylı sistemlerin dinamiklerini, bileşenlerini anlamak,

ölçüsünü kavramak ve değerlendirmek için çok ölçütlü yöntemler alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu yöntemler çok ölçütlü veya çok kriterli karar verme yöntemleri olarak bilinirler. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri, problemin çok boyutlu olduğu durumlarda dikkate alınmakta ve literatürde, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin problemlerin çözümünde etkili araçlar olduğu belirtilmektedir [17]. Bu çalışmada Ankara ve İstanbul'daki bazı kentsel raylı sistemlerin hizmet performansının çözümü için uygun çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kullanılmasına odaklanılmıştır. Sistemlerin performanslarını farklı açılardan anlamak için Gri İlişkisel Analiz, Entropy, ARAS, COPRAS kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemine ait değerleri hesaplamak için kriterlerin ağırlıklarına ihtiyaç vardır. Bu çalışma için 3 farklı kriter ağırlığı yöntemi bulunmaktadır. Birincisi bu çalışmanın alan uzmanlarının görüşlerine bağlıdır. İkincisi, her kriterin eşit ağırlığa sahip olduğu şeklindedir ve üçüncüsü Entropi - uzman görüşünün sentezine dayalıdır. Sonuç olarak çalışmada, kriterlerin önemi literatürden faydalanılarak yorumlanmakta ve halihazırda İstanbul'da ve Ankara'da faaliyet gösteren mevcut raylı sistemlerin performans ölçümü yapılmaktadır.

Yöntemlerin kullanılabilmesi için halihazırda kent içi raylı ulaşım sistemi sektöründe çalışan mimar, mühendis, şehir plancısı gibi meslek insanlarına, bu konuyla ilgili bir kamu kurumunda görev yapan yöneticilere veya bu konuda akademik çalışmalar yapan akademisyenlere tekniklerin gerektirdiği kapsamda uygulama yapılarak ağırlıklar tespit edilmiştir. Söz konusu tespit yapılması için toplamda 15 uzmandan Tablo 2'de yer alan kriterler arasında toplam 100 puanı kendilerince önem verdiği düzeyde paylaşması gerektiği hususu belirtilmiş olup, yapılan paylaşımın akabinde elde edilen göreceli puan değerleri yöntemlerin gerektirdiği şekilde işleme alınmıştır.

Yöntemlere göre kriterlerin matematiksel prensibinin ifadesi şu şekildedir.

**Tablo 2.** Model Prensipleri [18]

Gri İlişkisel Analiz	ARAS	COPRAS
$\Gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{0i}(j)$	$\sum_{j=1}^n W_j = 1$	$d_{ij} = x_{ij} * w_j$
Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü hesaplanır.	Kriter ağırlıkları 0 ile 1 arasında olmalı, ağırlık toplamı bir olmalıdır.	Ağırlık değeri karar matrisi elemanları ile çarpılır.
OECD ülkeleri için refah ölçümü: Gri ilişkisel analiz uygulaması [23] çalışmasından Gri İlişkisel Analiz ve Entropi metodunun işlem detayı görülebilir.	Kent İçi Raylı Ulaşım Performansını Değerlendirmede Swara ve Aras Yöntemleri ile Bir Model Önerisi [11] çalışmasından ARAS metodunun işlem detayı görülebilir.	AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi çalışmasından [24] COPRAS metodunun işlem detayı görülebilir.

Çalışma kapsamında, raylı sistemlerin performans kriterlerinin hangi düzeyde ve hangi önemde etki ettiği tespit edilmektedir. Kent içi raylı ulaşım sisteminin hizmet performans düzeyinin ne olduğu sorusuna cevap aranmaktadır. Bu soruların çok boyutlu yapısından dolayı anlaşılması ve kesin bir çözüm bulunması zordur. Kent içi raylı ulaşım, onu kullanan ve işleten kişiler açısından farklı bir perspektife sahiptir. Örneğin yolcular genellikle her yere olabildiğince hızlı, konforlu ve zamanında gitme eğilimindedirler. Ancak işletme açısından bu durumda kaynaklar sınırlı olduğundan zorluk yaşanabilir.

Bir şehrin her köşesine ulaşım için raylı sistemlerin olması kulağa hoş gelse de, işletme açısından bu sistemlerin yüksek performans seviyesinde tutulmasında zorluk yaşanabilir. Kent içi raylı sistem bileşenlerinin işletilmesinde hem kullanıcı hem işletici açısından optimal bir denge seviyesi olmalıdır, ancak bu eşik seviyeleri nasıl bilinebilir? Çok ölçütlü karar verme yöntemleri bu çalışmanın çözümü için uygundur. Birçok kritere sahip problemlerle çözülebilecek yöntemler, daha önceki çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da kullanılmıştır. Bu çalışmada kolaylık olması açısından kent içi raylı ulaşım sistemlerinin kodu ve özellikleri tablo halinde gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Hizmet Değerlendirme Kriterleri

Kriter Kodu	Anlamı
A	Hat Uzunlukları (Metre) [10]
B	Filo Büyüklüğü (Araç Sayısı) [11]
C	Ortalama İstasyon Mesafesi (Metre) [11]
D	İstasyon Sayısı (Adet) [11]
E	Maksimum Yolcu Kapasitesi (Yolcu/Saat/Yön) [14]
F	Ortalama Sıklık (Dakika) [10,12,13,14]
G	Yolculuk Süresi (Dakika) [14]
H	Dizi Kapasitesi (kişi) [14]

Tabloda görüldüğü üzere hizmet değerlendirme kriteri kümesi literatürden elde edilen belirli miktardaki kriterin oluşturduğu bir diğer alt kümedir. Raylı sistemler bazında bu kriterlere ait sayısal veriler temin edilebildiğinden çalışma bu kriterler üzerinden gerçekleştirilmektedir. Kriterlerin yanında kriterlerin referans noktalarına yer verilmektedir.

### 3. Bulgular

Tablolardan da görüleceği üzere çalışma kapsamında 5'i Ankara'dan, 9'u İstanbul'dan olmak üzere 14 farklı raylı sistem hattı bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan dört farklı çok ölçütlü karar verme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar, Gri İlişkisel Analiz, Entropi, ARAS, COPRAS şeklinde sıralanabilir. Gri İlişkisel Analiz, problemin bulanık tarafı olduğunda etkilidir. Bu çalışmada kişilerden toplanan verilerde ancak gerçekte günlük aktivitelerden dolayı bazı farklılıklar olabilir. Örneğin yolculuk süresi 10 dakika gibi görünse de normal gün içerisinde bazı işletim hataları vb. nedenlerle değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla bu kriterin mutlak değerini bulmak zordur.

**Tablo 4.** Çalışma Alanı Raylı Toplu Taşıma Hatları [19, 20]

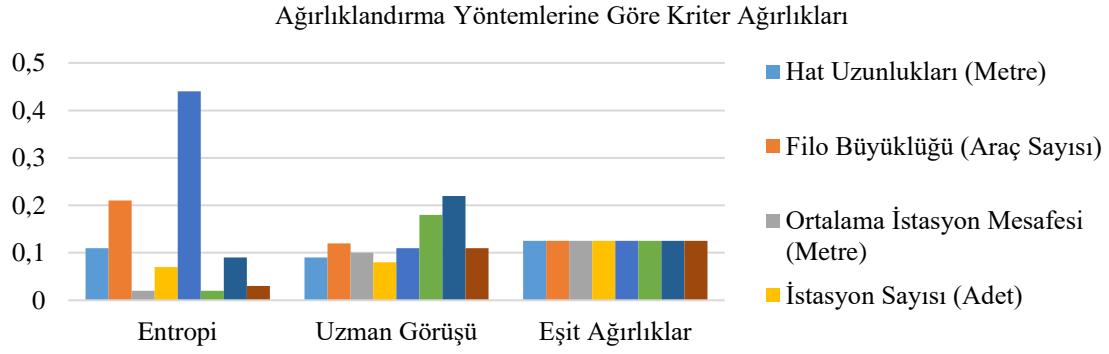
Şehirler	Hat İsmi (Kod ile)	A	B	C	D	E	F	G	H
Ankara	AA1 Ankaray Aşti-Dikimevi	8527	33	783	11	27000	10	18	924
	AM1 Kızılay Batıkent Metrosu	14661	108	1283	12	70000	8,3	20	1500
	AM2 Kızılay Çayyolu Metrosu	16590	275	1508	11	66000	8,3	25	1500
	AM3 Batıkent Sincan Metrosu	15629	264	1255	11	72000	8,3	22	1764
	AM4 Keçiören Atatürk Kültür Merkezi	9220	144	1024	9	66000	8,5	16	1500
İstanbul	IM1A Yenikapı - Atatürk Havalimanı	20032	105	1113	18	2367	6,4	35	1542

IM1B Yenikapı-Otogar-Atatürk Havalimanı ve Otogar-Kirazlı	14741	105	1134	13	2381	6,4	25	1542
IM2 Yenikapı-Seyrantepe-Hacıosman Metro Hattı	23490	180	1468	16	2283	8,5	32	950
IM3 Kirazlı-Başakşehir/Metrokent Metro Hattı	16000	80	1778	9	70000	5	20	966
IM4 Kadıköy Sabiha Gökçen Havalimanı	33500	144	1457	23	70000	5	52	1032
IM5 Üsküdar-Çekmeköy Metro Hattı	20000	126	1250	16	603	6	32	1622
IM6 Levent-Boğaziçi Ü./Hisarüstü Metro Hattı	3300	12	825	4	128	7	7	950
IM7 Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı	18000	80	1200	15	70000	6	32	2160
IM9 Bahariye-Olimpiyat Metro Hattı	6000	12	1200	5	5784	5	10	966

Gri İlişkisel Analiz esnektir ve belirsiz yanları olan bu tür sorunları çözebilir. Bu çalışmada Gri İlişkisel Analizin kullanılmasının nedenlerinden biri de bu husustan kaynaklanmaktadır. Entropi bu çalışmada kullanılan diğer bir yöntemdir. Entropi, objektif kriter ağırlıkları sağlayabilecek uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Performans düzeyleirni anlamak için daha fazla perspektif elde etmek amacıyla, daha fazla alternatif ağırlık oluşturmak için de kullanılır. ARAS, bu çalışmada kullanılan diğer yöntem olup, ARAS için özellikle, alan uzmanlarının görüşlerinin, optimum alternatifin fayda fonksiyonu ile karşılaştırılabilmesi ve her alternatifin ideal alternatifle karşılaştırılmasını sağlaması açısından önemi büyüktür. COPRAS, kelimenin tam anlamıyla havayollarının hizmet performansını ölçmek için kullanılmaktadır [17]. Dolayısıyla farklı bir çalışma örneğinde bir yöntemin kullanılması bu alanda yeni bir deneyim olacaktır. Çalışmada çok ölçütlü karar verme senaryoları ve kriter ağırlıkları tabloda görüldüğü gibi kullanılmıştır.

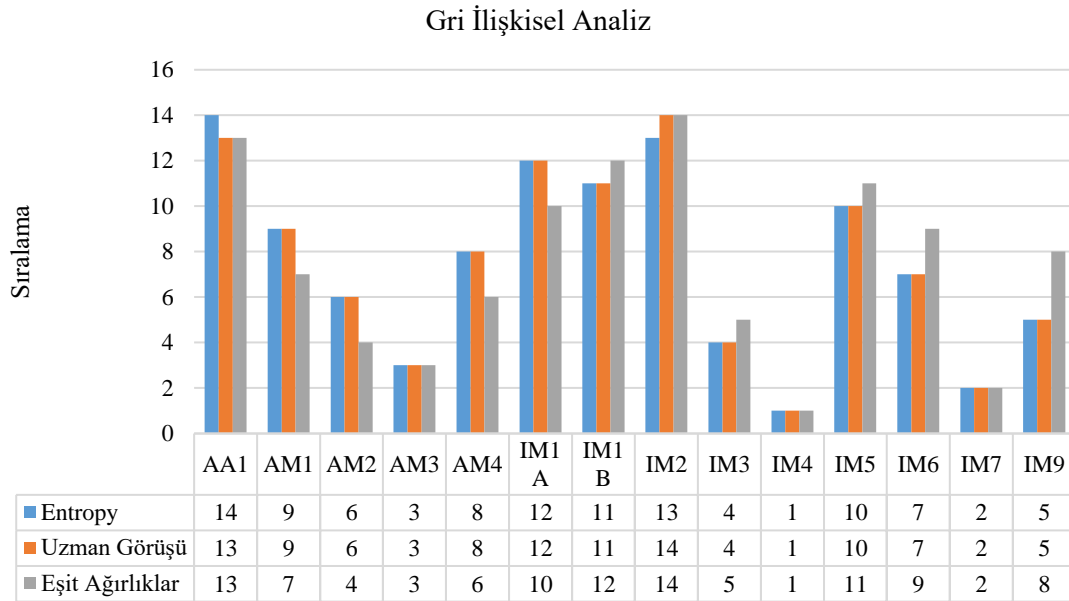
**Tablo 5.** Ağırlıklandırmanın Yöntemlere Göre Detayı [19,20].

Çok Ölçütlü Karar Verme Metodu	Ağırlık Belirleme Metodu		
Gri İlişkisel Analiz	1-Entropi		
ARAS	2-Uzman Görüşü		
COPRAS	3-Eşit Ağırlıklar		
Kriterler	Ağırlıklar		
	Entropi	Uzman Görüşü	Eşit Ağırlıklar
Hat Uzunlukları (Metre)	0,11	0,09	0,125
Filo Büyüklüğü (Araç Sayısı)	0,21	0,12	0,125
Ortalama İstasyon Mesafesi (Metre)	0,02	0,10	0,125
İstasyon Sayısı (Adet)	0,07	0,08	0,125
Maksimum Yolcu Kapasitesi (Yolcu-Saat – Yön)	0,44	0,11	0,125
Ortalama Sıklık (Dakika)	0,02	0,18	0,125
Yolculuk Süresi (Dakika)	0,09	0,22	0,125
Dizi Kapasitesi (kişi)	0,03	0,11	0,125



Şekil 1. Ağırlıklandırma yöntemlerine göre kriter ağırlıkları

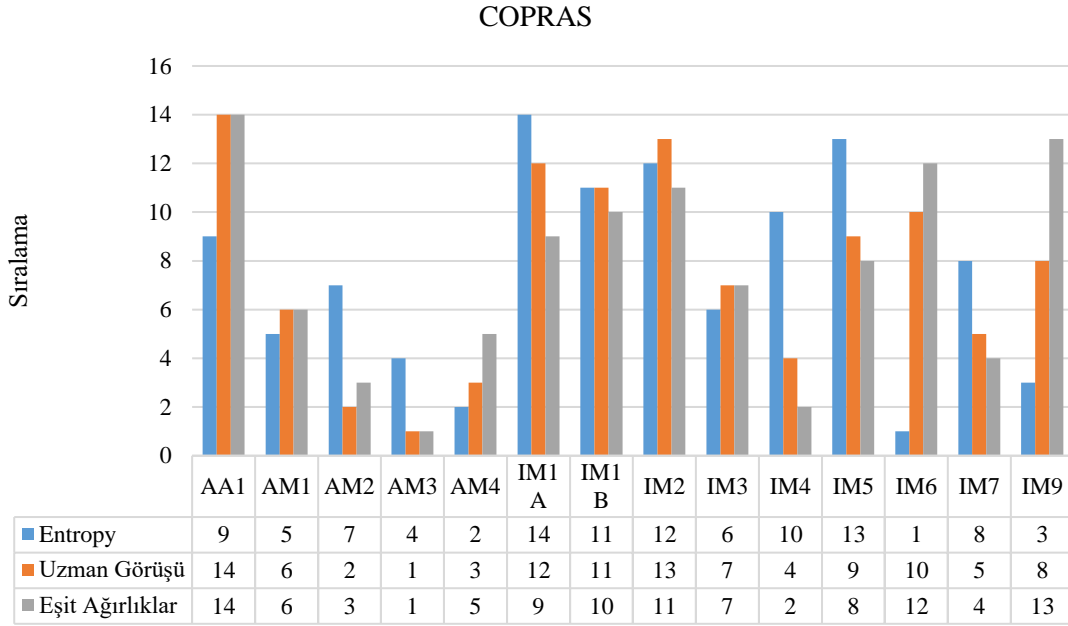
Çok ölçütlü karar verme yöntemlerin kullanımından sonra her sıralamanın sonucu, aşağıda yer alan Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'deki grafiklerde gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Gri ilişkisel analiz çözümlemesi sonucu

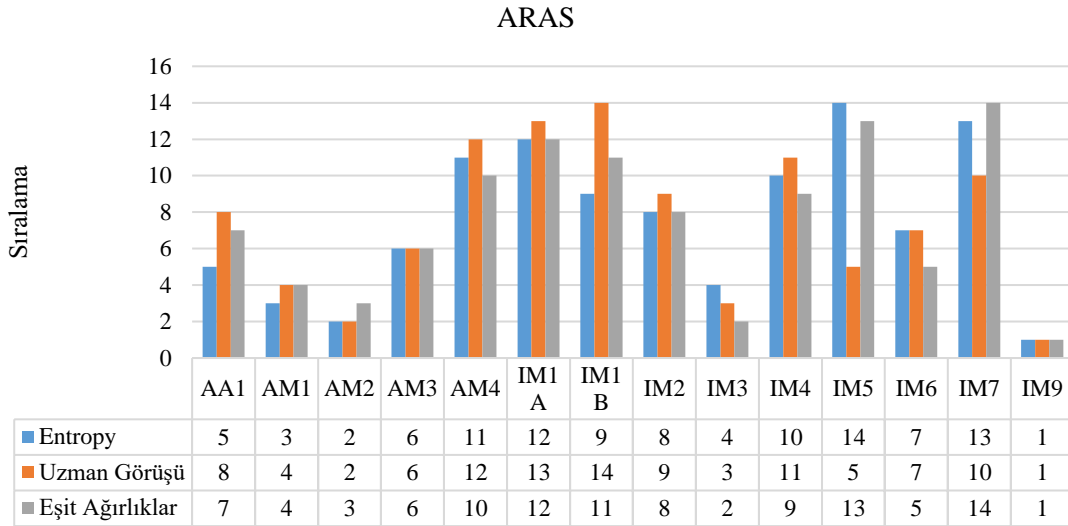
Çalışmanın gri ilişkisel analiz metoduna göre gerçekleştirilen kısmında en gelişmiş sistemin IM4 kodlu metronun olduğu görülmektedir. Gelişmişlik açısından bu metroyu sırasıyla IM7 kodlu ve AM3 kodlu metrolar takip etmektedir.





Şekil 3. COPRAS çözümlemesi sonucu

Doğrudan verilen hizmetlerin kalitesinin değerlendirildiği bir yöntem olan COPRAS'a göre uzmanların görüşü kapsamında en iyi fayda sağlayan ve hizmet veren metro sistemlerinin Ankara'da işletildiği dikkat çekmektedir. İstanbul'da yer alan metrolar ise sıralamada daha sonraki pozisyonlarda yer almaktadır. Uzman görüşüne göre COPRAS metodu kapsamında en iyi hizmet veren ilk 3 metro Ankara'da yer almaktadır.



Şekil 4. ARAS çözümlemesi sonucu

ARAS metodunda alternatiflerin ideal çözüme göreceli uzaklıkları değerlendirilmektedir. Bu kapsamda her türlü değerlendirme şeklinde IM9 kodlu raylı sistem ideal sisteme en yakın çözüm önerisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun haricinde, uzman görüşüne göre değerlendirildiğinde, Ankara raylı sistemlerinin ortalamasının üstünde bir performans sergilediği görülmektedir. Özellikle IMA1-IMA2 raylı sistemleri her türlü senaryoda son sıralarda yer almaktadır.

Yukarıda belirtilen üç şekilden de anlaşılacağı üzere, Ankara'daki kent içi ulaşım hatları genel olarak tüm sistemler arasında en iyi performansa sahip ilk 5'te yer almakta olup bu bağlamda sorun yaşayan tek hat AA1 (Ankaray Hattı)'dır.

**Tablo 6.** Çözümleme Özetleri

Sistemler	Gri İlişki Analizi			COPRAS			ARAS		
	Entropi	Uzman Görüşü	Eşit Ağırlık	Entropi	Uzman Görüşü	Eşit Ağırlık	Entropi	Uzman Görüşü	Eşit Ağırlık
AA1	14	13	13	9	14	14	5	8	7
AM1	9	9	7	5	6	6	3	4	4
AM2	6	6	4	7	2	3	2	2	3
AM3	3	3	3	4	1	1	6	6	6
AM4	8	8	6	2	3	5	11	12	10
IM1A	12	12	10	14	12	9	12	13	12
IM1B	11	11	12	11	11	10	9	14	11
IM2	13	14	14	12	13	11	8	9	8
IM3	4	4	5	6	7	7	4	3	2
IM4	1	1	1	10	4	2	10	11	9
IM5	10	10	11	13	9	8	14	5	13
IM6	7	7	9	1	10	12	7	7	5
IM7	2	2	2	8	5	4	13	10	14
IM9	5	5	8	3	8	13	1	1	1

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada 3 farklı çok ölçütlü karar verme yaklaşımı kullanılmış olup, her yaklaşımın 3 farklı kriter ağırlığı yaklaşımı tespit edilmiştir. Bu çalışmada incelenen 14 farklı şehir içi ulaşım hattı bulunmaktadır. Entropinin kriter ağırlığı bağlamı sıralamasında en önemli üç kriter maksimum yolcu kapasitesi, filo büyüklüğü ve hat mesafesidir. Alan uzman görüşü kriterlerinin en önemli kriterleri sırasıyla yolculuk süresi, sıklığı, filo büyüklüğüdür. Hesaplama sonuçlarından da anlaşılacağı üzere genel olarak 1. ve 2. en iyi hatların İstanbul'da olduğu gözlemlenmektedir. Ancak genel olarak Ankara hatları bu çalışmada incelenen kent içi toplu taşıma hatları arasında her zaman en iyi performans gösteren ilk 5 hat arasında yer almıştır. Önceki çalışmalarda olduğu gibi Ankaray da en kötü performans sonuçlarına sahip olmuştur. Beklenmedik bir şekilde İstanbul hatlarının performansı daha düşük çıkmıştır.

Çalışmada birçok kriter unsuru tespit edilmiş olmasına rağmen sadece belirli miktarda kritere ilişkin veri bulunabilmesi çalışmanın önemli bir sınırlılığıdır. Bir diğer sınırlılık hususu ise çalışmaya yönelik çok fazla sayıda uzmana ulaşılamamıştır.

Gelecek çalışmalarda daha çok sayıda şehir içi raylı sistemlere odaklanılabilir. Bu çalışmada sadece Ankara, İstanbul şehir içi toplu taşıma hatları ele alınmıştır. Ancak sonraki çalışmalar farklı türdeki kentsel raylı ulaşım sistemlerine ayrıca odaklanılabilir. Kent içi toplu ulaşımın tüm Türkiye'ye yayıldığı bir noktaya gelindiğinde şehir bazında bir kıyaslama ile şehir içi ulaşım planlaması perspektifinde, yaşam kalitesi tespit edilebilir. Günümüzde farklı çok ölçütlü değerlendirme çalışmaları da bulunmaktadır aynı veya benzer bir çalışma, daha fazla alan uzmanı görüşü alınarak tekrarlanabilir.

Çalışmada göreceli olarak daha düşük performansa sahip olan sistemlerin filo büyüklüğünü arttırması diğer kriterler açısından da olumlu sonuçlar alabilmek için en önemli gelişme sağlanması gereken alandır. Bunun haricinde yolculuk frekansı konusunu önemlidir. Genel olarak ifade edilebilir ki bu çalışmaya göre servis açısından en mükemmel sistem en hızlı olandır.

Bu çalışmada görülmektedir ki yatırımların yapılmasında ve hizmet performansı değerlendirmede önemli bir eşik ve kriter olan yolculuk sayısı kriteri performans değerlendirmede her zaman baş aktör olamamaktadır. Bu çalışmayla birlikte performans değerlendirme açısından başka kriterlerinde söz konusu kriteri geçebildiği görülebilmektedir. Bu yüzden bilinmelidir ki raylı sistem yatırımları çok boyutlu hizmetler olup performans değerlendirmesi yaparken tüm boyutlar bir arada değerlendirilmelidir. Bu çalışmada gelecek çalışmalar için değerlendirilebilecek birçok ölçüt olduğu yeni yapılacak çalışmalarda bu ölçütlerin değerlendirilebileceği açısından ışık tutulmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışma kapsamında uzman görüşü bildiren kişilere katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

### Kaynakça

- [1] E. J. Miller, "Accessibility: Measurement and application in transportation planning." *Transport Reviews*, 38(5), 551-555, 2018
- [2] A. Colsaet, Y. Laurans, H. Levrel, "What drives land take and urban land expansion? A systematic review." *Land Use Policy*, 79, 339-349, 2018
- [3] A. Bokhari, F. Sharifi, "Public transport and subjective well-being in the just city: A scoping review." *Journal of Transport & Health*, 25, 101372, 2022
- [4] M. E. Angelaki, T. Karvounidis, C. Douligieris, "Mobile Applications and Projects for Sustainable Urban Public Transportation: a Selective Review." *In 24th Pan-Hellenic Conference on Informatics* pp. 156-161, (2020, November)
- [5] A. N. H. Ibrahim, M. N. Borhan, "The interrelationship between perceived quality, Perceived value and user satisfaction towards behavioral intention in public transportation: A review of the evidence." *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(5), 2048, 2020
- [6] C. J. Padron, "Valuation of Social Capital in Public Transportation and Sustainable Mobility in Venezuela A Systematic Review of the Literature." *Revista de Estudios Andaluces*, 238-240, 2021
- [7] A. N. H. Ibrahim, M. N. Borhan, A. Ismail, "Rail-based Public Transport Service Quality and User Satisfaction—A Literature Review." *Promet-Traffic&Transportation*, 32(3), 423-435, 2020
- [8] J. Zukowska, A. Gobis, P. Krajewski, A. Morawiak, R. Okraszewska, C. B. Woods, E. G. Bengoechea, "Which transport policies increase physical activity of the whole of society? A systematic review." *Journal of Transport & Health*, 27, 101488, 2022
- [9] H.G. Önder, F. Akdemir, "Ulaşım Modlarının Çeşitliliği Bağlamında Erişebilirlik Analizi: Ankara Metropolü İçin Yeni Bir Yaklaşım", *Kent Akademisi*, Volume, 14, Issue 1, Pages, 102-121, 2021
- [10] Ö.F. Görçün, "Kent İçi Ulaşım Sistemlerine İlişkin Tercihlerin ve Tercihlere Etki Eden Faktörlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi İle Değerlendirilmesi", *Kent Akademisi*, 11 (33), Issue 1, 2018
- [11] R. Ertugut, N. Koç Ustalı, "Kent İçi Raylı Ulaşım Performansını Değerlendirmede SWARA ve ARAS Yöntemleri ile Bir Model Önerisi", *Verimlilik Dergisi*, (3), 35-53, 2021
- [12] L. Redman, M. Friman, T. Gärling, T. Hartig, "Quality attributes of public transport that attract car users: A research review." *Transport policy*, 25, 119-127, 2013

- [13] N. N. Hayati, A. Hasanuddin, R. M. Mubarak, "Evaluation Of Public Transport Performance in The Jombang District," *Presented At: The 16th International Symposium of Indonesian Inter University Transportation Studies Forum*, 2013
- [14] T. Litman, "Evaluating public transit benefits and costs". Victoria, BC, Canada: Victoria Transport Policy Institute, 2015
- [15] C. Kırılangoğlu, "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması." *Coğrafya Dergisi*, (33), 53-71, 2016
- [16] G. Akman, A. Alkan, "Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık AHP yöntemi kullanılarak tedarikçilerin performansının ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayiinde bir uygulama." *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 23-46, 2006
- [17] Masoumi, M. ve Öcalır-Akünel, E. V. "Türkiye'deki kent içi raylı ulaşım sistemlerinin performanslarının Veri Zarflama Analizi ile karşılaştırılması." *Politeknik dergisi*, 21(4), 971-975, 2018
- [18] E. Ayçin, *Çok Kriterli Karar Verme Bilgisayar Uygulamalı Çözümler*, Nobel Yayınevi, Ankara, 2020
- [19] Ankara Metropolitan Municipality, General Directorate of EGO. "Technical Statistics of Rail Systems" 2022. [Çevrimiçi] Erişim: <https://www.ego.gov.tr/tr/sayfa/1075/rayli-sistem/> [Erişim: 4 Aralık 2022]
- [20] İstanbul Metropolitan Municipality, Metro İstanbul A.Ş. "Hatlarımız" 2022. [Çevrimiçi] Erişim: <https://www.metro.istanbul/> [Erişim:4 Aralık 2022]
- [21] H. Gerçek, B. Karpak, T. Kılınçaslan, "A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul", *Transportation*, 31, 203-228, 2004
- [22] S. Moslem, A. Alkharabsheh, K. Ismael, ve S. Duleba, "An integrated decision support model for evaluating public transport quality." *Applied Sciences*, 10(12), 4158, 2020
- [23] H. Türe, "OECD ülkeleri için refah ölçümü: Gri ilişkisel analiz uygulaması." *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(2), 310-327, 2019
- [24] E. Aksoy, Ömürbek, N. ve Karaatlı, M. "AHP temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirilmesi". *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1-28, 2015
- [25] F. Akdemir, "Yüksek Hızlı Demiryolu Yatırımlarının Bölgesel Kalkınma Etkisinin ARAS Yöntemiyle Değerlendirilmesi", *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 18, ss. 14–25, Temmuz 2023, doi: 10.47072/demiryolu.1220471
- [26] H. Ulvi, B. H. Kutlu, F. Akdemir, "Gelişmekte Olan Ülkelerde Raylı Sistem Yatırım Kararlarını Etkileyen Ölçütlerin Belirlenmesi: AB ve Türkiye Özelinde Bir Araştırma", *Demiryolu Mühendisliği*, 2019(9):91-108

### Özgeçmiş



#### Hatice Gül ÖNDER

1986 yılında doğmuştur. Lisans ve yüksek lisansını Selçuk Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümünde, doktorasını Gazi Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümünde tamamlamıştır. Doçentliğini 2022 tarihinde, Mimarlık, Planlama ve Tasarım alanında almıştır. Uzmanlık alanları: ulaşım planlaması, akıllı şehirler ve ulaşım sistemleri, gayrimenkul ve emlak yönetimi ve şehir planlamasıdır. Halen, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Tapu Kadastro Yüksekokulu, Emlak ve Emlak Yönetimi Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

E-Posta: [gul.onder@hbv.edu.tr](mailto:gul.onder@hbv.edu.tr)

**Furkan AKDEMİR**

1994 Yılında Ankara'da doğmuştur. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Bölümünde Doktora eğitimine devam etmektedir. Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Dairesi Başkanlığında Yüksek Şehir Plancısı olarak çalışmaktadır. İlgili alanına giren araştırma konuları, ulaşım planlama, kent içi raylı sistemler ve ulaşım modellemesidir.

E-Posta: furkan.akdemir@ego.gov.tr

**Beyanlar:**

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Furkan AKDEMİR: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Görselleştirme, Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama. Hatice Gül ÖNDER: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme, Kontrol.