

Article Info	RESEARCH ARTICLE	ARAŞTIRMA MAKALESİ
Title of Article	<b>Determination of New Line Installation with Mixed Multi-Criteria Decision-Making Method in Urban Intelligent Transportation</b>	
Corresponding Author	<b>Bahadır Furkan KINACI</b> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü, <a href="mailto:furkankinaci@karabuk.edu.tr">furkankinaci@karabuk.edu.tr</a>	
Received Date	02.08.2021	
Accepted Date	19.12.2021	
DOI Number	<a href="https://doi.org/10.35674/kent.977741">https://doi.org/10.35674/kent.977741</a>	
Author / Authors	<b>Cevat ÖZARPA</b> <b>Bahadır Furkan KINACI</b> <b>İsa AVCI</b>	ORCID: 0000-0002-1195-2344 ORCID: 0000-0001-6872-2630 ORCID: 0000-0001-7032-8018
How to Cite	Özarpa, C., Kinacı, B.F. and Avcı, İ. (2021). <b>Determination of New Line Installation with Mixed Multi-Criteria Decision-Making Method in Urban Intelligent Transportation</b> , Kent Akademisi, Volume, 14, Issue 4, Pages,995 -1006.	



## Kent İçi Akıllı Ulaşımında Karma Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Yeni Hat Kurulumunun Belirlenmesi

Cevat ÖZARPA<sup>1</sup>  
Bahadır Furkan KINACI<sup>2</sup>  
İsa AVCI<sup>3</sup>

### ABSTRACT:

The development of industry has led to the development of urbanization and transportation systems. These developments are the most preferred transportation method in urban transportation due to the reasons of public transportation, reducing the cost of travel, reducing traffic density, and reducing environmental pollution. With the use of digital technologies, vehicle monitoring, density, and process tracking, maintenance processes, ticketing, and planning processes have become much more efficient. While planning public transportation, choices are made between different transportation methods. The advantages of the methods that can be selected are compared to each other in terms of system features, together with the evaluation of the existing structure and needs. In our study, while the new line is being installed, the methods used or likely to be used regionally in our country, among the urban transportation systems, were compared and the most appropriate method was prioritized. While establishing the new line, a mixed multi-criteria decision-making application was made to choose among the alternatives, the factor weights of the criteria used were determined by the AHP method, and the PROMETHEE method was used to find the most suitable alternative. The mixed multi-criteria decision-making application was carried out by taking the opinions of 5 different experts. According to the AHP method, Security; 30.49%, Initial setup costs; 21.87% and Capacity; It was determined as the most important criteria with 15.19%. According to the results of the PROMETHEE application in the determined criteria, metro, monorail, light metro, and tram types were determined as the method that should be preferred more than the funicular, Metrobus, bus, and minibus types. According to PROMETHEE, the metro was determined with the highest average flow value of 0.3712.

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, [cevatozarpa@karabuk.edu.tr](mailto:cevatozarpa@karabuk.edu.tr)

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü, [furkankinaci@karabuk.edu.tr](mailto:furkankinaci@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, [isaavci@karabuk.edu.tr](mailto:isaavci@karabuk.edu.tr)

**KEYWORDS:** Smart Transportation, Urban Transportation, Multi-Criteria Decision Making (MCDM), Analytical Hierarchy Process (AHP), PROMETHEE

## ÖZ:

Endüstrinin gelişmesi, şehirleşme ve ulaşım sistemlerinin gelişimine neden olmuştur. Yaşanan bu gelişmeler ile ulaşım sistemlerinde çeşitliliğin artması ve verimli sistemlerin önemi belirgin hal almıştır. Kent içi taşımacılıkta toplu ulaşım, yolculuk maliyetinin düşürülmesi, trafik yoğunluğu azaltılması, çevre kirliliğinin azaltılması sebepleri ile en çok tercih edilmesi gereken ulaşım yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaşım sistemleri, dijital gelişmeler ile birlikte akıllı ulaşım yöntemini literatüre kazandırmış, çok daha verimli ve yönetilebilir bir hal almıştır. Dijital teknolojilerin kullanımı ile birlikte taşıtların izlenmesi, yoğunluk ve süreç takipleri, bakım süreçleri, biletlendirme, planlama süreçleri çok daha verimli bir hal almıştır. Toplu ulaşım planlamaları yapılırken farklı taşıma metodları arasında seçimler yapılmaktadır. Seçilebilecek yöntemlerin mevcut yapı ve ihtiyaçların değerlendirilebilmesi ile birlikte sistem özellikleri bakımından birbirlerine göre üstünlükleri kıyaslanmaktadır. Çalışmamızda yeni hat kurulumu yapılırken kent içi taşıma sistemlerinden, ülkemizde bölgesel olarak kullanılan veya kullanılma ihtimali olan yöntemler karşılaştırılmış en uygun yöntem önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Uygulama yapılırken alternatifler arasında tercih yapabilmek için karma çok kriterli karar verme uygulaması yapılmış, kullanılan kriterlerin faktör ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodu ile belirlenmiş ve en uygun alternatifin bulunabilmesi için PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Yapılan karma çok kriterli karar verme uygulaması, raylı ulaşım sektöründen en az 10 yıllık tecrübeye sahip 5 ayrı uzmanın görüşü alınarak gerçekleştirilmiştir. Hat kurulumu için tercih yapılırken değişken kriterler için uygulanan AHP metodu sonuçlarına göre, Güvenlik; %30,49, İlk kurulum maliyeti; %21,87 ve Kapasite; %15,19 ile en önemli kriterler olarak tespit edilmiştir. Belirlenen kriter ağırlıklarına göre yapılan PROMETHEE uygulaması sonuçlarına göre, raylı ulaşım sistemlerinden olan metro, monoray, hafif metro ve tramvay türleri, finiküler, metrobüs, otobüs ve minibüs türlerinden daha çok tercih edilmesi gereken yöntem olarak belirlenmiştir. PROMETHEE yöntemi ortalama akım değerlerine göre tercih üstünlüğü, 0,3712 ortalama akım değeri ile metro yöntemi olarak tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Akıllı Ulaşım, Kent İçi Ulaşım, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), PROMETHEE

## GİRİŞ:

Toplu ulaşım sistemleri sanayileşme, sosyal ve kültürel gelişmeler ile birlikte önemi her geçen gün artmakta olan sistemler haline dönüşmüştür (Boğuşlı, Ö. ve Oğuztimur, S, 2021). Yapılan çalışmalarda, ulaşım sektörünün gelişiminin birçok farklı sektör için kritik önem oluşturduğu ortaya konulmuştur (Hayırlıoğlu, M., 2017). Ulaşım sistemlerindeki gelişmeler mevcut ihtiyaçları sağlamayı hedeflediği kadar ilerleyen süreçlerde ortaya çıkabilecek ihtiyaçların karşılanması için çeşitli yapısal öngörülere ihtiyaç duymaktadır. Ulaşım sistemleri ihtiyaçları sağlaması amacıyla kurulurken çeşitli kritik faktörler tespit edilmeli bölgenin veya ihtiyacın doğru analizlerinin yapılması sağlanmalıdır (Önder , H., Akdemir, F, 2019). Ulaşım sistemlerindeki gelişmeler kontrol, güvenlik, bakım ve sürdürülebilirlik gibi faktörlerin gelişimini zorunlu hale getirmiştir (Kutlu, H , Ulvi, H , Akdemir, F, 2019). Bu gelişim zorunluluğu dijital teknolojiler ile birlikte entegrasyonun gerçekleşmesini sağlamış ve akıllı toplu ulaşım teknolojisini ortaya çıkarmıştır. Toplu ulaşım sistemlerinde akıllı uygulamalar son yıllarda oldukça yaygın bir konu haline gelmiştir. Ulaşım, akıllı şehirlerin en önemli çalışma alanlarından biridir ve çoğunlukla bu alanda birçok zorlukları kendi içerisinde barındırmaktadır. Akıllı toplu ulaşım sistemleri çeşitli IOT (Nesnelerin İnterneti) tabanlı ekipmanın karşılıklı olarak ve bir merkez ile GPRS/LAN/Uydu benzeri bir haberleşme yöntemi ile haberleşmesini ve bu sayede kontrollerin sağlanması olanaklı hale getirmiştir. Dijital kontrollü ulaşım sistemlerin kurulumu esnasında, güvenlik, taşıma kapasitesi, taşıma ekonomisi, hız, çevresel etki, sürdürülebilirlik, taşıta ulaşılabilirlik, ilk kurulum maliyeti ve görsel etki üzerinde değerlendirilmesi gereken önemli başlıklar olarak karşımıza çıkmaktadır (Benk, S. , Akdemir, T , 2010).

Literatürde yapılan farklı çalışmalarda farklı kriterlerin tercih sıralamaları yapılırken çok kriterli karar verme metodları kullanılmaktadır. Yayınlamış olduğumuz bir çalışmada, raylı ulaşım sistemleri özelinde kullanılan alt sistemlerin risk önceliklendirmeleri yapılmıştır (Özarpa, C , Avcı, İ , Kinacı, B. F, 2021). Özdemir ve Özcan'ın yaptığı demiryolu ulaşımı konulu çalışmada araçların bakım planlamaları AHP metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bakımı önceliklendirilecek ekipmanlar belirlenmiştir (Özdemir, S. , Özcan, E, 2020). Mohajeri ve Amin tarafından yapılan çalışmada istasyonların yer seçimi gerçekleştirilirken AHP metodundan faydalanılmıştır (Mohajeri, N. , Amin, G.R, 2010). Bıyıkçı tarafından yapılan yüksek lisans tezinde doğal gaz akıllı şebekeleri için risk seviyelendirmesi AHP metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Bıyıkçı, H, 2016). Avcı'nın yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, enerji

kritik alt yapılarında olgunluk modeli oluşturulması ve risk seviyelendirilmesi AHP metodu ile gerçekleştirilmiştir (Avcı, 2021). Kaya'nın yapmış olduğu tez çalışmasında, önlem alınarak izlenmeyen, risk analizleri gerçekleştirilmeyen raylı sistemlerde büyük sorunların ortaya çıkabileceği öngörülmüştür (Kaya, C, 2019). Bu çalışmada, kent içi ulaşımında teknoloji gelişimleri ile birlikte önemi artan akıllı ulaşım metodu, bu akıllı ulaşım metotları arasında önceliklendirme yapılırken hatların belirlendiği kriterler ele alınmıştır. Hat belirleme kriterleri kullanılarak yeni kurulacak olan bir hatta hangi ulaşım türünün öncelikli olarak seçilebileceği analiz edilmiştir. Akıllı ulaşım sistemi tasarımı yapılırken önemli olan parametreler belirlenip bunlar arasında önem (etki) ağırlıklarının hesaplanması ÇKKV metotlarından olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile yapılacaktır. Önem (etki) ağırlıkları belirlenen kriterler, ulaşım türünün belirlenmesinde Visual PROMETHEE uygulamasında kullanılmıştır.

### 1. Akıllı Ulaşım

Akıllı ulaşım iletişim ve bilgi teknolojileri destekli, entegre ulaşım sistemidir (A. Lamssaggad ve arkadaşları, 2021), (D. Bonde, et al, 2018). Ulaşım süresinin azaltılması, güvenliğinin artırılması, kapasitelerinin optimum kullanımının sağlanması, enerji verimliliğini ortaya çıkararak ekonomiye katkısı ve çevreye verilen zararın azaltılmasına katkı sağlayan, araç, altyapı, kullanıcı ve yolcu arasında veri alışverişi, ölçme, analiz, izleme ve kontrol içeren sistemler olarak tanımlanır. Akıllı ulaşım yapısı, endüstriyel kontrol sistemleri (EKS), haberleşme ve alt yapı sistemleri, yazılım, entegrasyon ve güvenlik gibi birçok farklı katmandan meydana gelmektedir (Y. Sarıkavak, 2018).

- Endüstriyel Kontrol Sistemleri; temel SCADA bileşenlerini oluşturan veri toplama ve denetleyici kontrol sistemleridir. Bir merkez veya merkezlerden saha bulunan herhangi bir sistemin izlenmesi ve kontrolünün gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.
- Haberleşme ve Alt Yapı Sistemleri; bağlantı imkânı olan tüm ekipmanın birbirleriyle ve kontrol yönetim merkezleri ile haberleşmelerini sağlamaktadır.
- Yazılım ve entegrasyon; haberleşme alt yapısı ile birbiri ile bağlantıya sahip ekipmanların kontrollerini ve bunların yanında gerekli işlemlerin yürütülebilmesi için ara yüzler ve çalışan yapılardan meydana gelir.
- Güvenlik; teknolojiyi kullanımı ile, mevcut duruma karşı gelişebilecek tehditlere yönelik insanları korumak ve risk yönetimini sağlamak amacıyla geliştirilmiş, güvenliğinin etkinliğinin sağlanması işlevlerinin bütünüdür.

### 2. Akıllı Toplu Ulaşımında Hat Belirleme Kriterleri

Kent içi akıllı ulaşım uygulamaları yapılırken farklı alternatif taşıma yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Çalışmamızda ülkemizde uygulanan veya uygulama imkânı bulabilecek taşıma yöntemleri değerlendirilecektir. Taşıma alternatifleri metro, hafif metro, tramvay, monoray, finiküler, otobüs, metrobüs ve minibüs olarak seçilmiştir. Alternatiflerin seçim yüzdelerini belirlemek için kullanılan kriterler tablo 1'de gösterildiği gibidir (Gülsün, B , Gonca, C, 2019).

**Tablo 1.** Alternatif Belirleme Kriterleri

Kriter	Açıklama
Güvenlik	Ulaşım sürecinde sistemsel, taşıt ve yolcu bazlı güvenlik
Kapasite	Birim zamanda taşınabilecek yolcu
Taşıma Ekonomisi	Birim zamanda birim miktar yolcunun taşınması için gerekli maliyet
Hız	Birim mesafede taşıma hızı
Çevresel Etki	Taşıma esnasında ortaya çıkan ses ve hava kirliliği
Sürdürülebilirlik	Taşıtın planlı veya plansız arıza bakım gerektirmeyen taşıma miktarı
Taşıta Ulaşılabilirlik	İstasyon, durakların yolculara olan yakınlığı
İlk Kurulum Maliyeti	Sistemin ilk kurulum maliyeti
Görsel Etki	Sistemin kurulumundan sonra oluşan görsel etki

### 3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, akıllı toplu ulaşım uygulamalarında kurulacak olan yeni hat belirlenmesinde çok kriterli karar verme metodu kullanılmıştır. Bu bölümde kullanılan yöntemler ve yöntemlerin uygulanma detayları aktarılacaktır. Yapılan

uygulamalarda çok kriterli karar verme metodları kullanılırken raylı ulaşım sektöründen en az 10 yıllık tecrübeye sahip 5 farklı uzman görüşü alınıp uygulama gerçekleştirilmiştir. Yapılan çok kriterli karar verme uygulamalarında, tanımlı kriterler uzmanlar tarafından gerekli önem ağırlıkları ve önceliklendirmeleri için puanlamalar yapılmıştır. Uzmanlar tarafından yapılan puanlamalar aritmetik ortalamaları alınarak uygulamaya girdi olarak verilmiştir. Girdi olarak belirlenen veriler, alternatiflerin önceliklendirilmesi için kriterler üzerinde veri setleri olarak girilmesi sağlanmıştır.

### 3.1. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

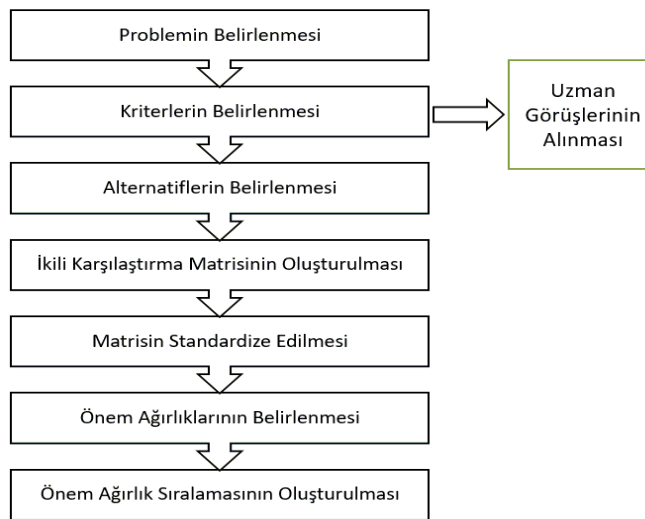
Temelde problem çözmeye odaklı olan birden fazla değişken ve kriterler için sıralama ve karşılaştırma yapılmasını sağlayan yöntemlerdir. Değişkenler arasında sıralamaları yapmak amaçlı literatürde örnekleri görüldüğü üzere çok kriterli karar verme metodları sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP (Analitik hiyerarşi süreci), PROMETHEE, ELECTRE, TOPSİS, ANP, ARAS, COPRAS ve VİKOR gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde PROMETHEE uygulaması, farklı parametrelerin sayısal veya etki parametreleri ile değerlendirilebilmesi, değişkenlerin birbirleri arasında önem (etki) ağırlıklarının hesaplamada kullanılabilmesi, gerçekleştirilen hesaplamalar sonucu GAIA düzlemini kullanarak grafiksel olarak görselleştirip analiz yapılmasını kolaylaştırdığı için seçilmiştir. PROMETHEE uygulaması gerçekleştirilirken ihtiyaç duyulan önem (etki) ağırlıkları veri girişlerinin gerçekleştirilebilmesi için kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılan ve bir çok çalışmada faydalanılmış olan AHP uygulaması kullanılmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada AHP ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak yeni hat belirlemeye etki eden faktörler ele alınacaktır.

### 3.2. Karma Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi

Karma yöntemde değişkenler veya faktör ağırlıkları belirlenirken birden fazla çok kriterli karar verme yöntemi birlikte kullanılır. Çalışmamızda, kent içi akıllı ulaşım yapısında çok kriterli karar verme metodu kullanılarak hat belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hat türü belirlenirken kullanılan PROMETHEE yöntemi uygulanması için ihtiyaç duyulan, değişkenlerin önem (etki) ağırlıkları belirlenirken AHP metodu kullanılmıştır. İlk olarak, AHP metodu ile elde edilen değişkenlerin önem (etki) ağırlıkları PROMETHEE uygulamasına entegre edilmiş ve karma metod çalışması tamamlanmıştır.

### 3.3. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Metodu

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodu Alpert ve Myers tarafından oluşturulmuş ve Saaty tarafından 1977 yılında bir model olarak geliştirilmiş, çok kriterli karar verme metodudur. Gelişmeler sayesinde çok kriterli karar problemlerinde kullanılabilir olmuştur. AHP metodu bir karar probleminin tanımlanması, değişken kriterlerin belirlenmesi ve değişken kriterlerin etkilerinin yüzdelik dağılımlarının belirlenmesi olarak açıklanabilir. Uzman görüşlerinin alınması ile birlikte tecrübe ve bilgiye dayalı olarak karmaşık bir problemin hiyerarşik bir yapı içerisinde çözülmesine olanak sağlayan çok kriterli karar verme metodudur (Hamurcu, M , Eren, T, 2018), (Sarımehmet, B , Hamurcu, M , Eren, T, 2020).



Şekil 1. AHP Çalışma Metodolojisi

Şekil 1'de analitik hiyerarşi süreci uygulama aşamaları gösterilmiştir. Uygulama yapılırken, ilk çok kriterli çözüm aranan problem belirlenir. Belirlenen problemin çözümü için gerekli kriterler ve alternatifler belirlenir. Kriter ve

alternatiflerin belirlenmesi sonrası ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Oluşturulan matrisler standardize edilip önem ağırlıkları belirlenir. Önem ağırlıkları sıralanıp birçok kriterli karar metoduna etkiyen kriterlerin arasında önem sıralaması tamamlanmış olur.

Köşegen elemanları 1 olan bir kare matris olan ikili karşılaştırma matrisleri formül (1) kullanılarak oluşturulur. 1 ile 9 arasında önem derecesinde değerler alan ölçek kullanılır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Oluşturulan karşılaştırma matrisleri, tablo 2’de belirtilen önem değerlerine göre değerler alır.

**Tablo 2.** AHP Değer Tanımlamaları

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	İki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

İkili karşılaştırma matrisleri formül (2) kullanılarak normalize edilir.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2)$$

Normalize edilen karşılaştırma matrisi değişkenlerin birbirlerine göre önem seviyelerini gösterir. Tüm matris içerisinde değişkenlerin yüzdeler olarak önem derecelerini belirlemek için karşılaştırma matrislerini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanır. Formül (3)’te bulunan sütun vektörü kullanılarak bileşenlerin tüm değişkenler içerisinde yüzde önem oranları belirlenir.

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Sütun vektörünün hesaplanması için formül (4)’ten faydalanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

### 3.4. PROMETHEE

PROMETHEE “Zenginleştirme Değerlendirme İçin Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi” ile ifade edilen çok kriterli karar verme metodudur. Jean-Pierre Brans’ın 1982 yılında geliştirdiği, 1985 yılında Brans ve Vincke ikilisi

tarafından tarafından gelişimi olgunlaşmış bir metottur (Genç, T, 2013). Çok kriterli karar verme metotları içerisinde en son geliştirilenlerden birisidir. Literatürde kullanılan çok kriterli karar verme metotlarında yaşanan zorlukları çözmek amacıyla geliştirilmiş analiz sonrası geometrik olarak gösterimi olan GAIA düzlemini kullanan ve bu sayede görsel olarak sonuçları açıklayan çok kriterli karar verme metodudur (Dağdeviren, M., Eraslan, E, 2008). GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Aid) düzlemi karar verme probleminde PROMETHEE sonuçlarının karar vericiye grafik olarak sunulan bir gösterimdir. GAIA düzlemi karar probleminde çelişen kriterlerin sonuçlarını karar vericiye bir düzlem üzerinde gösterilmesini ve daha kolay önem sıralamasının gerçekleşmesini sağlar (Taş, M., Özlemiş, Ş.N., Hamurcu, M, 2017).

PROMETHEE yöntemi alternatifler arasında seçilen kriterler ile tercih fonksiyonlarının ikili olarak karşılaştırılması ile çözüm üretmektedir. Bu sayede, kriterlerin alternatifler bazında birbirlerine olan üstünlüklerini belirler. PROMETHEE yöntemi nicel ve nitel değerlendirmeleri kullanarak çözümler üretilmesine olanak sağlar (Soba, M, 2012).

PROMETHEE yöntemi kullanılırken,  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  alternatifleri ile  $(q_1, q_2, \dots, q_k)$  kriterleri kullanılarak karar matrisi oluşturulur. Oluşturulan bu karar matrisi sonrası her bir kriter için, 6 farklı tercih fonksiyonundan biri seçilerek (V-tipi, Olağan, U-tipi, Lineer, Seviyeli ve Gaussian), alternatifler bu tercih fonksiyonlarına göre ikili olarak karşılaştırılır. Alternatifler arasında tercih fonksiyonu  $(P_j(a, b))$  genel görünümü denklem 5'te gösterilmiştir.

$$P_j(a, b) = \begin{cases} 0 & f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & f(a) > f(b) \end{cases} \quad (5)$$

Seçilen tercih fonksiyonuna göre alternatiflerin ikili karşılaştırmaları gerçekleştirilerek tercih indeksleri belirlenmektedir. Tercih indekslerinin belirlenmesi denklem 6'da gösterilmiştir.

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^n W_j \cdot P_j(a, b) \quad (6)$$

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^n W_j \cdot P_j(b, a)$$

Karar matrisine göre oluşan pozitif (çıkan), negatif (giren) akımlar denklem 7'de göre belirlenir. Pozitif akım bir "a" alternatifin diğer alternatifler ile ilişkili olarak üstünlüklerini belirlerken, negatif akım diğer alternatiflerin "a" alternatifine sağladığı üstünlüğü göstermektedir.

Pozitif (çıkan) Akım:

$$\frac{1}{n-1} \quad b \in A$$

Negatif (giren) Akım:

$$\frac{1}{n-1} \quad b \in A$$

Oluşturulan çözümler sonucunda GAIA düzleminde görselleştirilerek çözüme ulaşılabacaktır (Ekin, E., Okutkan, C, 2021).

## 4. Bulgular

Yapılan çalışmada, karma ÇKKV metodu kullanılmıştır. İlk olarak AHP metodu kullanılarak değişkenlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Belirlenen önem (etki) ağırlıkları PROMETHEE uygulamasına entegre edilmiş ve uygulamaya göre hat belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 4.1. AHP Metodu Çözümleri

Kent içi akıllı ulaşımında hat belirleme işlemleri için, etki eden faktörlerin önem ağırlıkları hesaplanırken raylı ulaşım sektöründen en az 10 yıllık tecrübeye sahip 5 ayrı uzman görüşleri alınarak oluşturulan tablo 3'te Analitik Hiyerarşi Süreci uygulaması gösterilmiştir.



**Tablo 3.** Kent içi akıllı ulaşımın etki eden faktörlerin performans göstergeleri

Ulaşım KPIs	Güvenlik	Kapasite	İlk Kurulum Maliyeti	Hız	Çevresel Etki	Sürdürülebilirlik	Taşıta Ulaşılabilirlik	Taşıma Ekonomisi	Görsel Etki
Güvenlik	1	7	1	5	7	9	7	5	7
Kapasite	0,143	1	2	3	4	3	5	3	3
İlk Kurulum Maliyeti	1,000	0,500	1	3	9	7	5	7	7
Hız	0,2	0,33333	0,333	1	4	5	3	2	5
Çevresel Etki	0,1428	0,250	0,111	0,250	1	3	4	3	3
Sürdürülebilirlik	0,111	0,333	0,143	0,200	0,333	1	4	5	3
Taşıta Ulaşılabilirlik	0,143	0,200	0,200	0,333	0,250	0,250	1	4	5
Taşıma Ekonomisi	0,200	0,333	0,143	0,500	0,333	0,200	0,250	1	3
Görsel Etki	0,143	0,333	0,143	0,200	0,333	0,333	0,200	0,333	1
<b>Toplam</b>	<b>3,083</b>	<b>10,283</b>	<b>5,073</b>	<b>13,483</b>	<b>26,250</b>	<b>28,783</b>	<b>29,450</b>	<b>30,333</b>	<b>37,000</b>

Gerçekleştirilen uygulama sonucu elde edilen ortalama değerlerin oluşturduğu önem ağırlık sıralamaları Tablo 4'te gösterilmiştir. Oluşturulan derecelendirilmelere göre yaklaşık %67,5'lik kısmını güvenlik, kurulum maliyeti ve kapasite başlıkları oluşturmıştır.

**Tablo 4.** Kent içi akıllı ulaşımın etki eden faktörlerin önem ağırlık sırası

Ulaşım KPIs	Güvenlik	Kapasite	İlk Kurulum Maliyeti	Hız	Çevresel Etki	Sürdürülebilirlik	Taşıta Ulaşılabilirlik	Taşıma Ekonomisi	Görsel Etki	Normalize Edilmiş Toplam	Normalize Edilmiş Toplam Yüzde Değeri ve Önem Sırası
Güvenlik	0,32	0,68	0,20	0,37	0,27	0,31	0,24	0,16	0,19	2,74	30,49
Kapasite	0,05	0,10	0,39	0,22	0,15	0,10	0,17	0,10	0,08	1,37	15,19
İlk Kurulum Maliyeti	0,32	0,05	0,20	0,22	0,34	0,24	0,17	0,23	0,19	1,97	21,87
Hız	0,06	0,03	0,07	0,07	0,15	0,17	0,10	0,07	0,14	0,87	9,62
Çevresel Etki	0,05	0,02	0,02	0,02	0,04	0,10	0,14	0,10	0,08	0,57	6,32
Sürdürülebilirlik	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,14	0,16	0,08	0,54	6,01
Taşıta Ulaşılabilirlik	0,05	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,03	0,13	0,14	0,45	4,99
Taşıma Ekonomisi	0,06	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,03	0,08	0,30	3,39
Görsel Etki	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,19	2,12
<b>Toplam</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>9,00</b>	<b>100,00</b>

Yapılan çalışma sonucu elde edilen önem ağırlıkları %30,49 ile güvenlik, %21,87 ile ilk kurulum maliyeti, %15,19 ile kapasite olarak belirlenmiştir. Tablo 5’te yüzdesel olarak önem ağırlık özeti verilmiştir.

**Tablo 5.** Kent içi akıllı ulaşımın etki eden faktörlerin önem ağırlık sırası özeti

Ulaşım KPIs	Önem Ağırlıkları (%)
Güvenlik	30,49
Kapasite	15,19
İlk Kurulum Maliyeti	21,87
Hız	9,62
Çevresel Etki	6,32
Sürdürülebilirlik	6,01
Taşıta Ulaşılabilirlik	4,99
Taşıma Ekonomisi	3,39
Görsel Etki	2,12

#### 4.2. PROMETHEE Metodu Çözümleri

Kent içi akıllı ulaşım hattı seçimi sağlanırken, metro, hafif metro, tramvay, monoray, finiküler, otobüs, metrobüs, minibüs alternatifleri güvenlik, kapasite, taşıma ekonomisi, hız, çevresel etki, sürdürülebilirlik, taşıta ulaşılabilirlik, ilk kurulum maliyeti ve görsel etki kriterlerine göre değerlendirilmiştir. PROMETHEE uygulaması yapılabilmesi için kriterlerin önem ağırlıkları AHP metodu ile belirlenip uygulama çözümü sağlanmıştır. Tablo 6’da PROMETHEE uygulamasının Visual PROMETHEE uygulamasında gerçekleştirilen gerekli tanımlamaları gösterilmektedir.

**Tablo 6.** PROMETHEE Uygulamasının Veri Girişleri

Hat Belirleme	Güvenlik	Kapasite	Taşıma Ekonomisi	Hız	Çevresel Etki	Sürdürülebilirlik	Taşıta Ulaşılabilirlik	İlk Kurulum Maliyeti	Görsel Etki
<b>Birim</b>	Etki	Etki	Etki	Etki	Etki	Etki	Etki	Etki	Etki
<b>Tercihler</b>									
<b>Geçerli Yön</b>	Max	Max	Min	Max	Min	Max	Max	Min	Min
<b>Önem Ağırlıkları</b>	30,49	15,19	3,39	9,62	6,32	6,01	4,99	21,87	2,12
<b>Tercih Fonksiyonu</b>	Seviye	Seviye	Seviye	Seviye	Seviye	Seviye	Seviye	Seviye	Seviye
<b>İstatistikler</b>									
<b>En az</b>	2	2	2	2	2	2	2	1	1
<b>En çok</b>	5	5	3	5	5	5	5	5	5
<b>Ortalama</b>	3,88	4	2,13	3,63	3,13	3,75	3,13	3,38	3,25
<b>Standart Sapma</b>	0,93	1	0,33	1,11	1,45	0,97	0,93	1,22	1,3
<b>Ölçüm / Değerlendirme</b>									
<b>Metro</b>	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	Ortalama	Çok Yüksek	Çok Düşük
<b>Hafif Metro</b>	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Ortalama	Yüksek	Düşük
<b>Tramvay</b>	Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Ortalama	Düşük	Yüksek	Ortalama	Yüksek	Ortalama
<b>Monoray</b>	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek
<b>Finiküler</b>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Ortalama
<b>Otobüs</b>	Ortalama	Ortalama	Düşük	Düşük	Çok Yüksek	Ortalama	Yüksek	Düşük	Ortalama
<b>Metrobüs</b>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Yüksek	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Yüksek



Minibüs	Düşük	Düşük	Ortalama	Düşük	Çok Yüksek	Düşük	Çok Yüksek	Çok Düşük	Çok Yüksek
---------	-------	-------	----------	-------	------------	-------	------------	-----------	------------

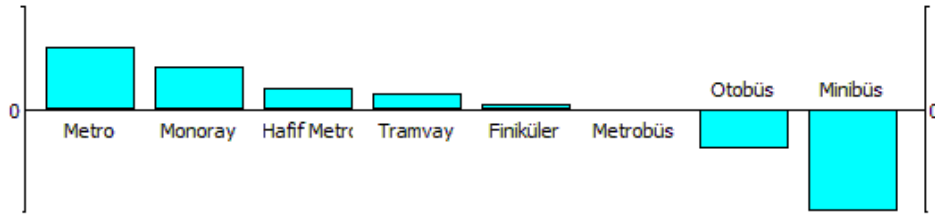
PROMETHEE uygulaması çözümleri sağlandıktan sonra, alternatifler tüm kriterler için ayrı olacak şekilde diğer alternatiflere göre üstünlük durumlarını gösteren akım değerleri denklem 3'e göre hesaplanmıştır. Her kriter için alternatiflerin akım değerleri tablo 7'de gösterilmektedir.

**Tablo 7.** Alternatiflerin Kriterlere Göre Akım Değerleri

Akım Değeri	Güvenlik	Kapasite	Taşıma Ekonomisi	Hız	Çevresel Etki	Sürdürülebilirlik	Taşıta Ulaşılabilirlik	İlk Kurulum Maliyeti	Görsel Etki
Metro	0,5714	0,4286	0,1429	0,5714	0,2143	0,5000	-0,0714	-0,3571	0,6429
Hafif Metro	0,0714	0,4286	0,1429	0,0714	0,2143	0,0714	-0,0714	-0,2143	0,3571
Tramvay	0,0714	0,4286	0,1429	-0,2143	0,2143	0,0714	-0,0714	-0,2143	0,0714
Monoray	0,5714	-0,0714	0,1429	0,5714	0,2143	0,5000	-0,5714	-0,2143	-0,5000
Finiküler	0,0714	-0,0714	0,1429	0,0714	0,2143	0,0714	-0,5714	-0,2143	0,0714
Otobüs	-0,5000	-0,3571	0,1429	-0,5714	-0,3571	-0,2857	0,5000	0,4286	0,0714
Metrobüs	0,0714	-0,0714	0,1429	0,0714	-0,3571	-0,2857	-0,0714	0,0000	-0,2143
Minibüs	-0,9286	-0,7143	-1,0000	-0,5714	-0,3571	-0,6429	0,9286	0,7857	-0,5000

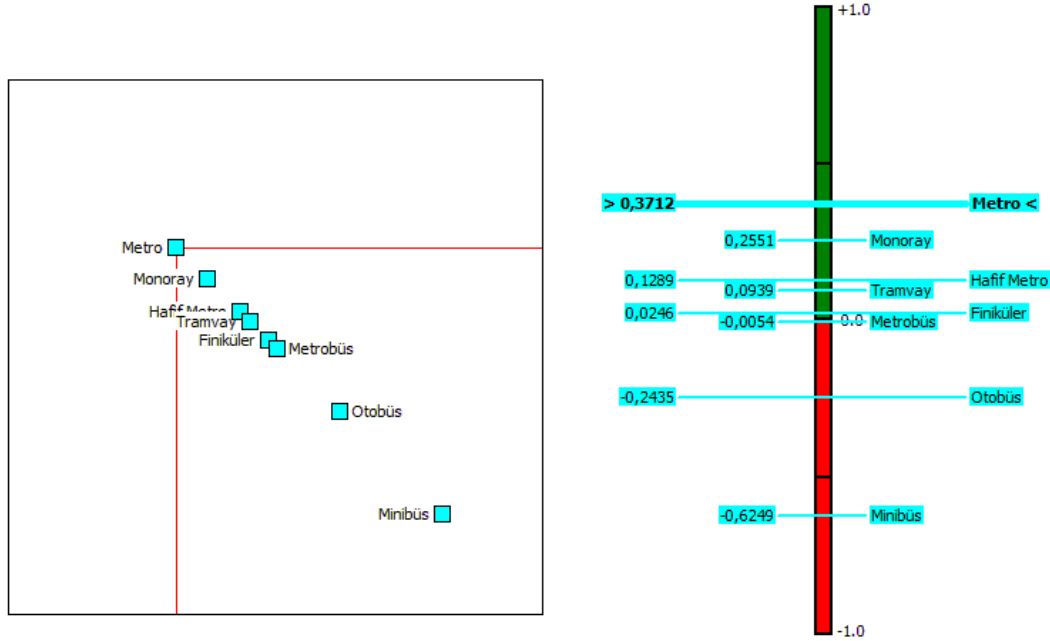
Şekil 2'de her alternatifin tüm alternatifler üzerindeki pozitif ve negatif akım değerleri ile her alternatifin çözüm içerisindeki ortalama akım değerleri ve GAIA düzleminde alternatiflerin çözümdeki ağırlık grafiği görülmektedir. Yapılan çalışmada Visual PROMETHEE yazılımı kullanılmıştır. Uygulama, 5 uzman görüşü ortalamaları ile birlikte değerlendirilecek olan alternatif hat belirleme kriterleri AHP uygulamasından elde edilen önem (etki) ağırlıkları uygulamaya veri olarak girilmiştir. Girilen veriler, denklem 5, 6 ve 7'ye göre hesaplanmış ve uygulama tarafında GAIA düzlemine aktarılmıştır.

	Phi+	Phi-	Phi
Metro	0,4003	0,0290	0,3712
Hafif Metro	0,2215	0,0927	0,1288
Tramvay	0,2097	0,1157	0,0939
Monoray	0,3377	0,0826	0,2551
Finiküler	0,1684	0,1439	0,0246
Otobüs	0,1173	0,3608	-0,2435
Metrobüs	0,1531	0,1584	-0,0053
Minibüs	0,0882	0,7131	-0,6249



**Şekil 2.** Alternatiflerin Tüm Alternatiflere Göre Akım Değerleri ve GAIA Düzleminde Grafikselsel Gösterimi

Akım değerleri hesaplamalarına göre uygulama GAIA düzleminde alternatiflerin üstünlükleri arasında grafikselsel seçimler ortaya koymaktadır. Şekil 3'te GAIA düzleminde alternatifler arasında seçim üstünlükleri gösterilmektedir.



Şekil 3. GAIA Düzleminde Alternatif Seçiminin Gösterimi

### SONUÇ:

Gelişen endüstri ve şehirleşme ile birlikte, kent içi toplu ulaşım sistemlerinin önemi artmış ve dijitalleşmenin etkisi ile birlikte akıllı ulaşım metodu gelişmiştir. Kent içi akıllı ulaşım uygulamaları yapılırken çeşitli alternatif taşıma yöntemleri ile bunların seçimi sağlanırken farklı kriterlerin etkisi ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmada farklı kriterlerin etkisi ile alternatifler arasında yöntem önceliklendirmesi yapılırken, raylı ulaşım sektöründen en az 10 yıllık tecrübeye sahip 5 farklı uzman görüşü alınıp karma çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, önceliklendirme yapılırken kullanılan alternatiflerin belirlenmesi için gerekli olan kriterlerin etkileri analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen faktör etkileri ile PROMETHEE çok kriterli karar verme uygulaması gerçekleştirilip yeni hat kurulurken önceliklendirilen ulaşım metodu belirlenmiştir. Yapılan AHP uygulamasında kriterler arasında, güvenlik %30,49, ilk kurulum maliyeti %21,87, kapasite %15,19 ve hız %9,62 oranları ile tüm kriterler arasında yaklaşık %77'lik kısmı oluşturduğu belirlenmiştir. Diğer kriterler arasında çevresel etki %6,32, sürdürülebilirlik %6,01, taşıta ulaşılabilirlik %4,99, taşıma ekonomisi %3,39 ve görsel etki %2,12'lik etki kısmını oluşturduğu belirlenmiştir. PROMETHEE uygulaması AHP uygulaması ile elde edilen kriterlerin faktör ağırlıklarına göre oluşturulmuş ve raylı ulaşım sistemlerinin diğer ulaşım sistemlerine göre daha üstün oldukları tespit edilmiştir. Ortalama akım değerlerine göre tercih üstünlüğü, 0,3712 ortalama akım değeri ile metro yöntemi olarak belirlenmiştir. Monoray 0,2551, hafif metro 0,1288, tramvay 0,0939, finiküler 0,0246, metrobüs -0,0053, otobüs -0,2435 ve minibüs -0,6249 ortalama değerleri elde edilmiştir. Metro, hafif metro, monoray, tramvay ve finiküler yöntemleri pozitif ortalama akım değeri elde edilmişken, metrobüs, otobüs ve minibüs yöntemleri negatif ortalama akım değeri elde edilmiştir. Yapılan çalışma ile, kent içi akıllı ulaşımında yeni hat belirlerken en önemli belirleme kriterlerinin güvenlik ve ilk kurulum maliyeti olduğu tespit edilmiştir. Taşıma yöntemi seçerken metro ve monoray yöntemlerinin önceliklendirilmesi gerektiği ve diğer yöntemlerin kullanıma ihtimali varsa fosil yakıtlı olmaları sebebi ile metrobüs, otobüs ve minibüs türü taşıma yöntemlerinin seçilmesinin tercih edilmemesi gerektiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma ile birlikte, teorik olarak genel bir değerlendirme yapılmıştır. Devamında yapılacak çalışmalarda bölgesel olarak değerlendirmenin sağlanması, yer yüzü şekilleri, taşımacılık için uygun taşıma yöntemi, kapasite ve mali imkanlar benzeri detaylar verisel olarak değerlendirilmesi uygun olacaktır.

**Etik Standart ile Uyumluluk**

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

**Etik Kurul İzni:** Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

**Finansal Destek:** Yoktur.

**TEŞEKKÜR:**

Bu çalışmada, akıllı raylı sistemler için yeni hat kurulurken önceliklendirilmesi gereken taşıma yönteminin belirlenmesi ve bu yöntemler arasında kriterlere bağlı olarak değerlendirmelerin yapılabilmesi için gerekli tanımlama, derecelendirme ve önceliklendirme konularında destek olan, TCDD, Metro İstanbul A.Ş ve Karabük Üniversitesine teşekkür ederiz.

**KAYNAKÇA:**

- A. Lamssaggad, N. Benamar, A.S. Hafid, M. Msahli. (2021). *A survey on the current security landscape of intelligent transportation systems, IEEE Access, Volume 9.*
- Avcı, İ. (2021). *Akıllı Doğal Gaz Sebekelerinde Siber Güvenlik Açıklarının Araştırılması Ve Olgunluk Modeli Geliştirilmesi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi.*
- Benk, S. , Akdemir, T . (2010). *Toplu Taşıma Hizmetlerinde Fiyatlama Stratejileri: Teorik Bir Değerlendirme, Ekonomi Bilimleri Dergisi, c. 2, sayı. 1, ss. 131-138.*
- Bıyıkçı, H. (2016). *Büyük Şehirlerde Doğal Gaz Dağıtımı Akıllı Şebeke Olgunluk Seviyesi Analizi: İstanbul için Durum Çalışması, Şehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.*
- Boğuşlı, Ö. ve Oğuztimur, S. (2021). *2000 Sonrası Kalkınma Planlarının Ulaştırma Politikaları Bakımından İncelenmesi, Kent Akademisi, Volume, 14 Issue2, Pages, 452-467.*
- D. Bonde, et al. (2018). *Smart railway system for safe transportation, OAIJSE, Volume 3 Special Issue1.*
- Dağdeviren, M., Eraslan, E. (2008). *PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(1), ss.69-75.*
- Ekin, E., Okutkan, C. (2021). *PROMETHEE Yöntemi ile Tesis Yeri Seçim Problemine İlişkin Bir Uygulama, Gaziantep Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt:3, Sayı:1 ss. 46-58.*
- Genç, T. (2013). *PROMETHEE Yöntemi ve GAIA Düzlemi . Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 15 (1) , 133-154 .*
- Gülsün, B , Gonca, C. (2019). *ADAPTİF TRAFİK YÖNETİM SİSTEMLERİ . OHS ACADEMY , 2 (1) , 32-40.*
- Hamurcu, M , Eren, T. (2018). *Transportation planning with analytic hierarchy process and goal programming . International Advanced Researches and Engineering Journal , 2 (2) , 92-97 .*
- Hayırlıoğlu, M. (2017). *Toplu Ulaşım Sistemlerinin Faydaları, raylı Mühendisliği, sayı. 6, ss. 42-46.*
- Kaya, C. (2019). *Demiryolu Hatlarının Emniyetinin Sağlanması İle İlgili Risk Analizleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.*
- Kutlu, H , Ulvi, H , Akdemir, F. (2019). *Gelişmekte Olan Ülkelerde Raylı Sistem Yatırım Kararlarını Etkileyen Ölçütlerin Belirlenmesi: AB ve Türkiye Özelinde Bir Araştırma . Demiryolu Mühendisliği , (9) , 61-78.*

- Mohajeri, N. , Amin, G.R. (2010). *Railway Station Site Selection Using Analytical Hierarchy Process And Data Envelopment Analysis, Computers & Industrial Engineering, 1(59), 107-114.*
- Önder , H., Akdemir, F. (2019). *Türkiye'deki Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinin Ulaşım Ana Planları Bağlamında Değerlendirilmesi, Demiryolu Mühendisliği, sayı. 10, ss. 31-45.*
- Özarpa, C , Avcı, İ , Kınacı, B. F. (2021). *Akıllı raylı sistemlerde kullanılan alt sistemlerin kritik seviye analizi, Demiryolu Mühendisliği, no. 14, pp. 143-153, doi:10.47072/demiryolu.937278.*
- Özdemir, S. , Özcan, E. (2020). *AHP, COPRAS ve tamsayı programlama entegrasyonu ile demiryolu araçlarında bakım planlaması, Demiryolu Mühendisliği, no. 12, pp. 1-12, doi: 10.47072/demiryolu.678580.*
- Sarımeahmet, B , Hamurcu, M , Eren, T. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme: Kırıkkale YHT İstasyonu - Şehir Bağlantısının Sağlanması . Demiryolu Mühendisliği , (11) , 26-40.*
- Soba, M. (2012). *PROMETHEE Yöntemi Kullanarak En Uygun Panelvan Otomobil Seçimi ve Bir Uygulama, Journal of Yasar University 28(7) 4708 - 4721.*
- Taş, M. Özlemiş, Ş.N., Hamurcu, M. (2017). *Ankara'da AHP ve PROMETHEE Yaklaşımıyla Monoray Hat Tipinin Belirlenmesi, JEBPIR, 3(1), 65-89.*
- Y. Sarıkavak. (2018). *Demiryolu endüstrisinde akıllı ulaşırma sistemleri ve Türkiye'deki uygulama örnekleri, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 1 (2) , 22-32.*