



## BELEDİYE OTOBÜSLERİNİN YHT İSTASYONU İÇİN İLÇE GÜZERGÂHLARININ ÇKKV İLE BELİRLENMESİ: KIRIKKALE İLİ ÖRNEĞİ

<sup>1</sup>Buse BAYRAM , <sup>2</sup>Mert KARA , <sup>3</sup>Rabia YUMUŞAK ,  
<sup>4</sup>Ahmet CÜREBAL , <sup>5,\*</sup>Tamer EREN 

<sup>1,5</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale,  
TÜRKİYE

<sup>2</sup>İzmir Ekonomi Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Kapadokya Üniversitesi, Kapadokya Meslek Yüksekokulu, Bilişim Güvenliği Teknolojisi Bölümü, Nevşehir,  
TÜRKİYE

<sup>4</sup>University of Hamburg, Institute of Information Systems, Hamburg, GERMANY

<sup>1</sup>busebayram9@gmail.com, <sup>2</sup>mert.k@std.izmir ekonomi.edu.tr, <sup>3</sup>rabia.yumusak@kapadokya.edu.tr,

<sup>4</sup>ahmet.curebal@uni-hamburg.de, <sup>5</sup>tamereren@gmail.com

### Önemli Katkılar (Highlights)

- Kırıkkale ilindeki tüm ilçe ve üniversite bağlantısının sağlanmasında ilk kapsamlı araştırma niteliği taşımaktadır.
- AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak model önerisi sunulmuştur.
- Sunulan model benzer güzergâh belirleme problemlerinden farklı olarak, problemin kapsadığı geniş alan ve değerlendirmeye aldığı veri miktarının büyüklüğü açısından literatüre önemli katkı sağlamaktadır.



## BELEDİYE OTOBÜSLERİNİN YHT İSTASYONU İÇİN İLÇE GÜZERGÂHLARININ ÇKKV İLE BELİRLENMESİ: KIRIKKALE İLİ ÖRNEĞİ

<sup>1</sup>Buse BAYRAM , <sup>2</sup>Mert KARA , <sup>3</sup>Rabia YUMUŞAK ,  
<sup>4</sup>Ahmet CÜREBAL , <sup>5,\*</sup>Tamer EREN 

<sup>1,5</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

<sup>2</sup>İzmir Ekonomi Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Kapadokya Üniversitesi, Kapadokya Meslek Yüksekokulu, Bilişim Güvenliği Teknolojisi Bölümü, Nevşehir, TÜRKİYE

<sup>4</sup>University of Hamburg, Institute of Information Systems, Hamburg, GERMANY

<sup>1</sup>buseebayram9@gmail.com, <sup>2</sup>mert.k@std.izmirekonomi.edu.tr, <sup>3</sup>rabia.yumusak@kapadokya.edu.tr,

<sup>4</sup>ahmet.curebal@uni-hamburg.de, <sup>5</sup>tamereren@gmail.com

(Geliş/Received: 15.06.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.07.2023)

**ÖZ:** Günümüzde artan nüfusla birlikte bireysel araç sayısı ve dolayısıyla trafik yoğunluğu da her geçen gün artmaktadır. Hem şehir içi hem de şehirlerarası trafik yoğunluğunu azaltmaya yönelik olarak çalışmalar yapılmakta olup, şehirleri daha hızlı ve ekonomik bir şekilde birbirlerine bağlayan yüksek hızlı tren (YHT) projesi bunlardan biridir. Kırıkkale ilinde YHT istasyonunun kurulacak olması, efektif ilçe bağlantıları yapılarak daha fazla insanın kolay bir şekilde YHT hizmetini kullanması trafik yoğunluğu sorununa büyük etki edecektir. Bu bağlamda belediye otobüslerinin YHT istasyonu için ilçe bağlantılarının sağlanmasında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden AHP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution) ve PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) entegre şekilde kullanılmıştır. Yöntem sonuçları karşılaştırıldığında Kırıkkale Üniversitesi – Osmangazi hattı için 2. güzergâhın seçildiği görülmekte olup, diğer ilçeler için de alternatif güzergâhların sıralamaları elde edilmiştir. Çalışma, Kırıkkale’de açılacak YHT durağı ile ilçelerin ve binlerce öğrencisi bulunan üniversitenin bağlantısını sağlamakta olduğundan, il bazında yapılmış en kapsamlı çalışma özelliğini taşımasının yanı sıra YHT için güzergâh belirleme çalışması olarak da literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Güzergâh Belirleme, ÇKKV, AHP, TOPSIS, PROMETHEE

### Determination of District Routes of Municipal Buses for YHT Station with MCDM: The Case of Kırıkkale Province

**ABSTRACT:** Today, with the increasing population, the number of individual vehicles and therefore traffic density is increasing day by day. Efforts are being made to reduce both urban and intercity traffic density, and the high-speed train (HSR) project, which connects cities faster and more economically, is one of them. The fact that the HSR station will be established in Kırıkkale province, and more people will easily use the HSR service by making effective district connections will have a great impact on the problem of traffic density. In this context, AHP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution) and PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), which are Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods, were used in an integrated manner. Based on the findings, it is observed that the second route is the preferred choice for the Kırıkkale University-Osmangazi line, with the optimal routes for the other lines also being determined. Since the HSR station to be opened in Kırıkkale will connect the districts and the university

\*Corresponding Author: Tamer EREN, [tamereren@gmail.com](mailto:tamereren@gmail.com)

with thousands of students, the study is the most comprehensive study conducted on a provincial basis and makes an important contribution to the literature as a route determination study for HSR.

**Keywords:** *Route Selection, Multi Criteria Decision Making (MCDM), AHP, TOPSIS, PROMETHEE*

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nüfusun artışına bağlı olarak şehir merkezlerinde trafik yoğunluğu günden güne artmaktadır. Toplu taşıma sisteminin çeşitli iyileştirmeler ile birlikte teşvik edilmesi trafik sorunu çözümüne büyük katkı sağlayacaktır. Sorunun çözüme ulaştırılması, talebe cevap verilebilmesi aşamasında yapılacak yatırımlar büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de şehirler arası ulaşımda seyahat süresinin azaltılması, hızlı, konforlu ve güvenli bir ulaşım imkânı oluşturulması ve aynı zamanda ulaşımdaki demiryolu payının artırılması amacı ile hızlı tren projeleri hayata geçirilmiştir [1]. İlk seferine 2009 yılında başlayan YHT, Ankara-İstanbul, Ankara-Eskişehir, Ankara-Konya ve Konya-İstanbul hatlarında hizmet vermeye devam etmektedir.

Yolculuk planının hızlı şekilde internet aracılığıyla yapılabilmesi, yolculara yapılan servis hizmetleri, güvenli ve hızlı ulaşım sunması gibi avantajlar YHT hizmetinin devamlılığında ve talebin artmasında büyük rol oynamaktadır. Artan bu talebe en etkili şekilde cevap verebilmek, memnuniyeti maksimum seviyede tutmak, toplu taşımanın teşvik edilmesi ve kullanımının sürdürülebilirliği açısından oldukça önemli olduğundan dolayı bu durum güzergâh belirleme problemini ortaya çıkarmaktadır. Güzergâh belirleme problemi şehir içi ve şehirler arası ulaşım açısından büyük önem arz etmektedir. Konforlu ve hızlı ulaşım yolcu memnuniyetinin sağlanması açısından önemli etmenlerdir. Talepler doğrultusunda darboğaz alanlar öncelikli olarak değerlendirilerek, en iyi güzergâhın belirlenmesi önem arz etmektedir [2]. Bu çalışmada Kırıkkale’de açılacak YHT istasyonuna lokal ulaşımın efektif bir şekilde sağlanması üzerine çalışılmıştır. Çalışmanın yapılacağı şehrin Ankara’ya yakın konumlu olması, Ankara’ya seyahat edebilecek öğrenci nüfusunun da göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda bahsi geçen ilde belediye otobüslerinin faaliyete geçmesi durumunda, YHT-ilçeler, YHT-üniversite bağlantısının yapılması üzerine çalışılmıştır.

Ele alınan problemde, üniversite ile ilçelerin dahil olduğu 10 adet hattın alternatif güzergâhları kendi içerisinde değerlendirilmiş, değerlendirme sırasında CO<sub>2</sub> salınımı, hizmet süresi, nüfus yoğunluğu, önemli merkezlere yakınlık, yakıt maliyeti ve yolculuk süresi olmak üzere altı adet kriter dikkate alınmıştır. Güzergâhın belirlenmesi aşamasında birden çok kriter bulunduğu için, en sık kullanılan ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE’nin entegre bir şekilde kullanımından yararlanılmıştır.

Bu çalışmada Kırıkkale ilindeki Yahşihan, Bahşili, Balışeyh, Çelebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Merkez, Sulakyurt olmak üzere 9 ilçe ve üniversite bölgesinin YHT istasyonu ile bağlantılarının yapılabilmesi için hatlardaki alternatif güzergâhlar belirlenip, 6 adet kriter göz önünde bulundurularak, ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı bir optimum güzergâh seçimi ele alınmıştır. Seçim probleminin tüm ili kapsadığı geniş alan ve değerlendirmeye aldığı veri miktarının büyüklüğü ile son derece kapsamlı bir çalışma olarak ilk defa yapılmış olup, yapılan diğer benzer güzergâh seçimi problemlerinden ayrılarak, bu özelliği ile literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde güzergâh belirleme problemine ve literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çözüm aşamasında kullanılan AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ele alınan kriterler ve alternatiflerin ÇKKV yöntemleriyle çözümü ve yorumu yer almaktadır. Çözüm önerisi sunulan problemin özeti ve önerileri beşinci bölümde sunulmuş olup, altıncı bölümde kaynakçaya yer verilmiştir.

## 2. GÜZERGÂH BELİRLEME PROBLEMİ VE LİTERATÜR TARAMASI (ROUTE SELECTION PROBLEM AND LITERATURE REVIEW)

Şehirleri ve önemli merkezleri birbirine bağlaması, ulaşım altyapısının kurulabilmesi için güzergâh belirleme önemli bir karar aşamasıdır. Yolcu memnuniyetini ve talebini karşılayarak, ulaşım süresini ve yakıt maliyetini en küçükleyecek bir planlama yapmak gerekir. Ulaşım planlamasında önemli bir adımı teşkil eden güzergâhın belirlenmesi süreci doğru bir şekilde ele alınırsa yapılan yatırım veya kurulan yeni sistem trafikte iyileşmeyi sağlayacak ve akabinde olabilecek yatırım ve düzenlemeler için başlangıç oluşturmaktadır [3].

Güzergâh belirleme üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Özellikle yol, otobüs, raylı sistem, tramvay, hızlı tren ve tren güzergâhları için çalışmalar mevcuttur [4].

Farkas [5] çalışmasında birden fazla kriter altında metro-ray ağı rota ve yer seçimi üzerinde durmuştur. CBS, Uzman Sistemler ve ÇKKV yöntemlerinden yararlanmıştır. Chang ve Hsieh [6] Tayvan'daki bisiklet yollarının ilgi görmesine karşılık, devletin isteği üzerine bisiklet rotalarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada Bulanık Delfi Metodu, ANP, 0-1 Hedef Programlama yöntemlerini kullanmışlardır. Kim vd. [7] Teksas Kent Üçgeninde sürdürülebilir ulaşımı sağlamaya çalışmışlardır. CBS ve Mekânsal Karar Destek Sistemlerini kullanmışlardır. Kırangoçoğlu ve Ekinci [8] çalışmada ilk olarak raylı sistem güzergâh tasarımı için geleneksel yöntemleri analiz etmiş, nasıl geliştirebileceği hakkında araştırmalar yapmıştır. ÇKKV ve CBS'den yararlanarak İstanbul için güzergâh tasarımı yapmıştır. Hamurcu ve Eren [4] Ankara'da nüfusun ve kentleşmenin giderek artmasına bağlı olarak trafik yoğunluğunun artmasına dikkat çekmişlerdir. Büyükşehir Belediye'nin de planları arasında olan Monoray ulaşım sistemine AHP yöntemiyle güzergâh seçmişlerdir. Alkawaaz ve Asmael [9] çalışmada Bağdat şehrindeki trafik yoğunluğuna değinmiş ve çözüm önerisi olarak kentsel raylı ulaşımı sunmuşlardır. Değerlendirmelerini CBS, AHP ve TOPSIS yöntemleriyle yapmışlardır. Tezcan vd. [10] üç aşamadan oluşan çalışmada alternatif ilçeler ve 16 adet kriter değerlendirilip araç rotalama problemine odaklanılmıştır. AHP, BAHP, TOPSIS, PROMETHEE ve VIKOR yöntemlerini kullanarak afet sonrası geçici depo yeri seçimi ve araç rotalama sorununu Kırıkkale ili için çözmüşlerdir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bu problemde yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Arslan ve Yavuzylmaz [11] çalışmasında müşteri istekleri doğrultusunda, Düzce ilindeki seyahat işletmesi için, Gri İlişkisel Analiz ve MOORA yöntemlerini kullanarak optimum güzergâh önerisinde bulunmuşlardır. Eren vd. [1] çalışmasında bazı kriterleri göz önünde bulundurarak AHP yöntemiyle istasyon yeri belirlemiştir. Güvez vd. [12] Tam Sayılı Programlama Modeli kullanarak Kırıkkale'de atık sektöründeki bir işletmenin tıbbi atık toplama işlemi için en uygun rotayı belirleyerek, rotanın maliyetinin en küçüklenmesini amaçlamıştır. Hamurcu [3] yüksek lisans tezinde Ankara'da tek ray üzerinde hızlı ve güvenli ulaşım sağlayan monoray için AHS, ANP ve TOPSIS yöntemleri en iyi güzergâh seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Hamurcu ve Eren [13] yaptıkları literatür araştırmasında kentsel toplu ulaşımında güzergâh belirlemek için kullanılan kriterleri incelemişlerdir. Hamurcu ve Eren [14] çalışmasında kent içi ulaşım probleminin çözümü olan toplu ulaşım için AHP ve ANP yöntemlerini kullanarak alternatifler arasından seçim yaparak öneride bulunmuşlardır. Hamurcu ve Eren [15] İstanbul için planlanan monoray projelerinin seçiminde AHP ve Hedef Programlama yöntemlerini kullanmışlardır. Özçelik ve Eren [16] dolmuş hattındaki çalışma dengesizliğini giderme amaçlı, AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak Kütahya-Tavşanlı hattına en uygun atamayı yapmıştır. Dinç vd. [17] çalışmasında Ankara-Sivas YHT hattında istasyon yerlerini AHP ve Hedef Programlama ile belirlemiştir. Dinç vd. 18 Kırıkkale'nin en uzun dolmuş hattı olan kampüs hattının değerlendirilmesinde AHP yöntemini kullanarak iyileştirme önerileri sunmuştur. Sarımehtem vd. [2] Kırıkkale'de YHT istasyonunun açılacak olması sebebiyle YHT-Şehir merkezi ve üniversite bağlantısını sağlamak amaçlı AHP ve TOPSIS yöntemleriyle en uygun güzergâhları belirlemiştir. Eren vd. [18] AHS yöntemini kullanarak Ankara-Sivas YHT güzergâhını değerlendirmiştir. Toraman [19] yüksek lisans tezinde ulaşım ağına yeni güzergâh ekleme konusu üzerinde çalışmış, CBS ve ÇÖKA yöntemlerinden yararlanmıştır. Yıldırım ve Bediroğlu [20] çalışmalarında Trabzon limanı için optimum güzergâhları CBS ve AHP yöntemleriyle oluşturmuşlardır. Baran [21] çalışmasında günümüz

rekabet ortamına uyum sağlayabilmek ve doğru yönlendirmeler ile sevkiyatın yapılabilmesi adına güzergahlar belirlemiştir. Yıldırım ve Yomralıoğlu [22] CBS ve AHP yöntemleriyle boru hattı projeleri için maliyet ve inşaat süresinin minimizasyonun sağlanması adına doğru güzergahların belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Silman vd. [23] şehir içi otobüsler için planlama yapmışlardır. Wang ve Ziatonava [24] ilk müdahale ekipleri için güvenli ve hızlı rotaların belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Navratil [25] makalesinde motosiklet sürücüleri ve kamyon sürücülerinin özel gereksinimlerini göz önünde bulundurup bir model ortaya koymuştur. Almasi vd. [26] deprem ardından yardım sağlayabilmek için vaka çalışması yapmışlardır. Hariharan vd. [27] insanların trafikte beklemesini engellemek amacıyla DESBOR ve GPS teknolojilerini incelemişlerdir. Kang ve Kim [28] en hızlı rotayı bulabilecek trafik tahmin stratejileri ortaya koymuşlardır.

Literatür taraması sonucunda çalışmaların uygulama alanı ve yöntemlerine göre Çizelge 1’de özeti verilmiştir.

Çizelge 1’de görüldüğü üzere güzergâh belirleme problemi kapsamında ağırlıklı olarak ÇKKV yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bu yöntemlerden en çok AHP yöntemi kullanıldığı görülmektedir. Güzergâhların belirlenmesi ve araç rotalama problemlerinde araştırmacılar birden çok kriter altında optimum sonuca ulaşmaya çalışmışlardır. Bu kriterlerden başlıcaları; önemli merkezlere yakınlık ve müşteri memnuniyetidir. Çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde listelenmektedir:

- Kırıkkale ilindeki tüm ilçelerin ve üniversitenin bağlantısını sağlayan kapsamlı bir araştırma olduğundan bir ilk niteliği taşımaktadır.
- Literatürde YHT ile ilgili çalışmalara ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE kullanılmasıyla model önerisi sunulmuştur.
- Literatürde YHT istasyonu için fazla sayıda bağlantı sağlanması ve güzergâh belirlenmesi ile kapsamlı bir çalışması olarak ilk niteliği taşımaktadır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

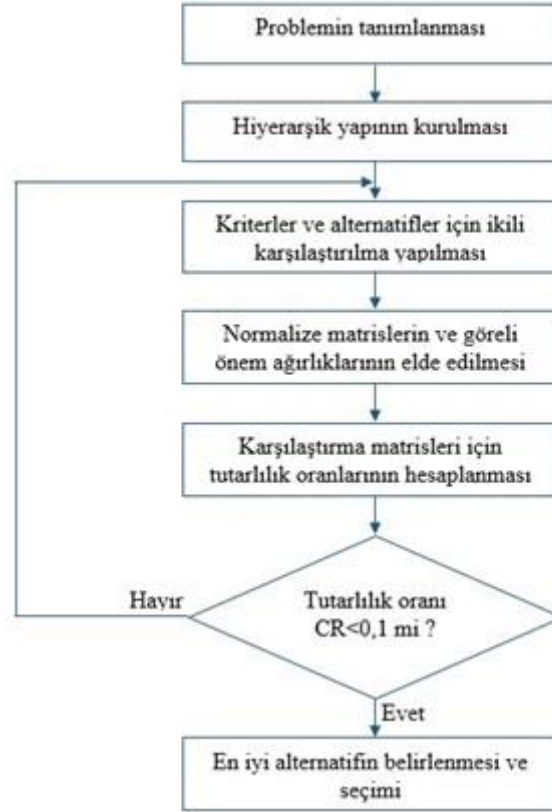
Belirli bir amaca yönelik olarak birden fazla kriterin bulunduğu karar verme problemlerinin çözümlenmesinde özellikle son zamanlarda literatürde sıklıkla ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığını görülmektedir. Yöntemin verdiği etkin sonuçlardan ötürü karar vericiler tarafında kullanılan bir yöntemdir. ÇKKV yöntemleri ile pek çok kriteri bir arada değerlendirerek en iyi çözümü veren alternatifleri üretmek mümkündür [29]. Bu uygulamada ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE kullanılmıştır.

#### 3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process)

Saaty tarafından geliştirilen AHP, çok kriterli karar verme durumları içeren problemlerde kullanılmak üzere başvurulan bir yöntemdir [30]. AHP tekniğinde en üst düzeyde bir amaç ve bu amacın altında sırasıyla kriterler, alt-kriterler ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde kriterlerin amaca katkısı belirlenir, kriter ağırlıkları oluşturulur ve uygun alternatif belirlenir [31]. Çalışmada, kişisel önyarguların azaltılarak [32], doğrusal programlama gibi [33], analitik yöntemlerle entegrasyon esnekliğine sahip olması [10] ve etkin sonuçlar vermesi nedeni ile AHP yönteminden yararlanılmış ve yöntemin sırası ile uygulanan aşamaları Şekil 1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Güzergâh belirleme literatür özeti*Table 1. Route designation literature summary*

<b>Yazarlar</b>	<b>Uygulama Alanı</b>	<b>Kullanılan Yöntemler</b>
Alkawaaz ve Asmael [9]	Kentsel raylı ulaşım	CBS, AHP ve TOPSIS
Almasi vd. [26]	Afet yönetimi güzergâh belirleme	Sistem Analizi
Arslan ve Yavuzylmaz [11]	Optimum güzergahın belirlenmesi	Gri İlişkisel Analiz ve MOORA
Baran [21]	Sevkiyat alanında güzergâh belirleme	KTA Algoritması ve Van Breedam Metodu
Chang ve Hsieh (2013)	Bisiklet rotalarını değerlendirilmesi	Bulanık Delfi Metodu, ANP, 0-1 Hedef Programlama
Dinç vd. [17]	YHT hattında istasyon yerlerinin seçimi	AHP ve Hedef Programlama
Dinç vd. (2018)	Dolmuş hattı etkinliğinin değerlendirilmesi	AHP
Eren vd. (2017)	Yüksek hızlı tren istasyon yerinin seçimi	AHP
Eren vd. [18]	YHT hat güzergahının değerlendirilmesi	AHP
Farkas (2009)	Metro-ray ağı rota ve yer seçimi	CBS, Uzman Sistemler ve ÇKKV
Güvez vd. [12]	Araç rotalama problemi ile tıbbi atıkların toplanması	Tam Sayılı Programlama Modeli
Hamurcu ve Eren (2015)	Monoray güzergâh seçimi	AHP
Hamurcu [3]	Monoray güzergahı belirleme	AHP, ANP, TOPSIS
Hamurcu ve Eren [13]	Kentsel ulaşımda güzergâh belirleme için kullanılan kriterler	Sistem Analizi
Hamurcu ve Eren [14]	Toplu taşıma türünün seçimi	AHP ve ANP
Hamurcu ve Eren [15]	Ulaşım planlaması	AHP ve Hedef Programlama
Hariharan vd. [27]	Ulaşım planlaması	DESBOR ve GPS
Kang ve Kim [28]	Ulaşım planlaması	Doğrusal Olmayan Entegratör Geri Adım Teorisi
Kırlançoğlu ve Ekinci (2014)	Raylı sistem güzergâh tasarımı	CBS
Kim vd. (2013)	Sürdürülebilir ulaşım	CBS ve Mekânsal Karar Destek Sistemleri
Navratil [25]	Ulaşımında özel gereksinimler göz önünde bulundurarak model sunma	Modelleme ve Simülasyon
Özçelik ve Eren [16]	Dolmuş hattının değerlendirilmesi	AHP ve TOPSIS
Sarimehmet vd. [2]	YHT istasyonu ve şehir bağlantısının sağlanması	AHP ve TOPSIS
Silman vd. [23]	Şehir içi otobüsler için güzergâh belirleme	Doğrusal Hedef Programlama
Tezcan vd. (2021)	Depo yeri seçimi ve çok araçlı araç rotalaması	AHP, Bulanık AHP, TOPSIS, PROMETHEE ve VIKOR
Toraman [19]	Ulaştırma için güzergâh seçenekleri	CBS, ÇÖKA
Wang ve Ziatonava [24]	İlk müdahale ekipleri için güzergâh belirleme	Dijkstra Algoritması
Yıldırım ve Bediroğlu [20]	Güzergâh belirleme	CBS ve AHP
Yıldırım ve Yomralıoğlu [22]	Boru hattı projeleri için güzergâh belirleme	CBS ve AHP
Yomralıoğlu (2011)		

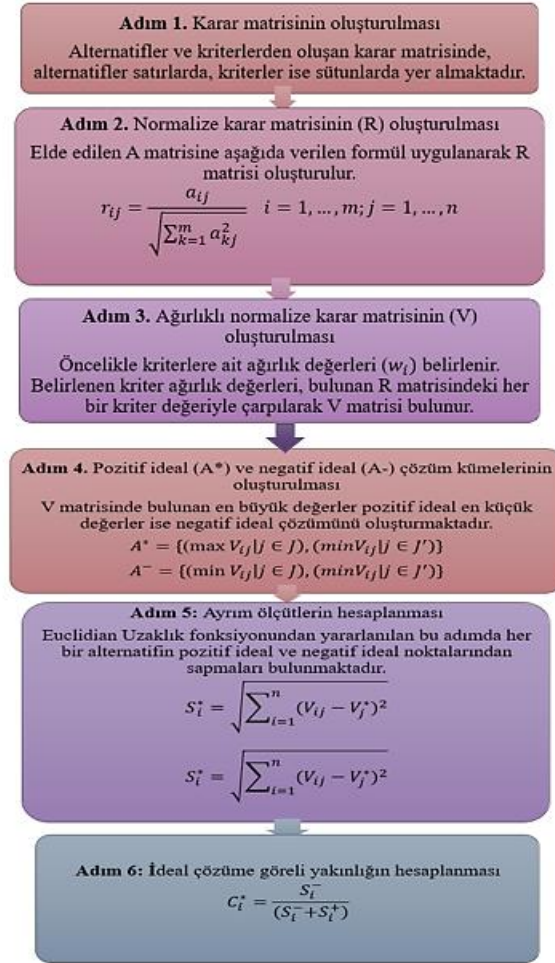


Şekil 1. AHP yöntemi akış şeması [34]

Figure 1. AHP method flow chart

### 3.2. TOPSIS Yöntemi (TOPSIS Method)

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiş ve birçok alanda kullanılmış bir ÇKKV yöntemidir [35]. Yöntem karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanarak, tercih sıralaması yapmak için geliştirilmiştir [36]. Çalışmada, alternatiflerin kolay ve etkin bir şekilde sıralandırılması [37], literatürde geniş kapsama sahip problemlerde sıralama yapmak için sıklıkla kullanılması [33][38] nedeniyle TOPSIS yöntemi tercih edilerek, kullanılmasına karar verilmiştir. Literatürde geniş kapsamlı sıralama problemleri için sıkça kullanılmakta olan TOPSIS yönteminin adımları özetlenerek Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. TOPSIS yöntemi akış şeması [35]

Figure 2. TOPSIS method flow chart

### 3.3. PROMETHEE Yöntemi (PROMETHEE Method)

Brans [39] tarafınca geliştirilen PROMETHEE yöntemi, tercih fonksiyonları dikkate alınarak alternatiflerin seçilen kriterler altında ikili karşılaştırılması yapıp, değerlendirilmesine dayanan bir yöntemdir. PROMETHEE yöntemi ile sonlu sayıda alternatifler üzerinde hem kısmi sıralama (PROMETHEE I) hem de tam sıralama (PROMETHEE II) yapmak mümkündür, alternatifler ( $a_1, a_2, \dots, a_n$ ) ve kriterler ( $q_1, q_2, \dots, q_k$ ) tarafından oluşan karar matrisi ile karar verme sürecine başlanır. Yöntem karar vericiye karar matrisi oluşturulduktan sonra 5 adımın izlenmesi sonucunda PROMETHEE tam ve kısmi sıralama sonuçlarını sunmaktadır [40]. PROMETHEE yönteminin aşamaları özetlenerek Şekil 3'te verilmiştir.



**Adım 1:** Alternatif, kriter ve ağırlıklarının belirlenmesi

**Adım 2:** Kriterler için tercih fonksiyonlarının belirlenmesi

**Adım 3:** Ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi

**Adım 4:** Tercih indekslerinin belirlenmesi

**Adım 5:** Pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi

**Adım 6:** Kısmi önceliklerin belirlenmesi (PROMETHEE-1)

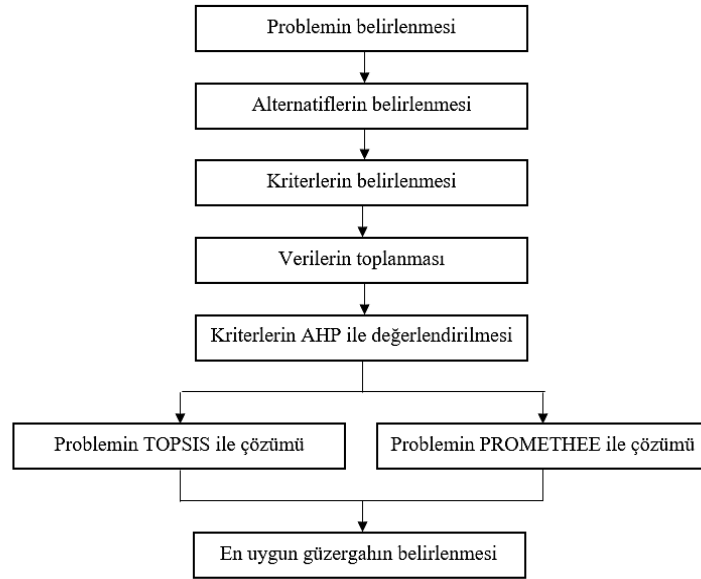
**Adım 7:** Net önceliklerin belirlenmesi (PROMETHEE-2)

**Şekil 3.** PROMETHEE yöntemi akış şeması [39]

*Figure 3. PROMETHEE method flow chart*

#### 4. UYGULAMA (CASE STUDY)

Bu çalışmada Kırıkkale ilinde kurulacak olan YHT istasyonunun belediye otobüsleri ile 9 ilçe ve 1 üniversite bağlantısı için ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE' den yararlanarak optimum güzergâhlar ile bağlanması üzerine çalışılmıştır. Çalışmada problemin belirlenmesi aşamasından sonra alternatifler belirlenmiş, çeşitli araştırmalar ve uzman görüşü sonucunda da kriterlerin belirlenmesi aşaması tamamlanmıştır. Daha sonra sırasıyla AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri uygulanmıştır. Uygulamanın akış süreci Şekil 4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Problem akış şeması

*Figure 4. Problem flow chart*

##### 4.1. Problemin Tanımlanması (Problem Defination)

Kırıkkale'nin Ankara'ya yakın olması, bu iki şehir arasında trafik yoğunluğunun artmasına sebebiyet vermiştir. YHT istasyonunun açılacak olması Kırıkkale-Ankara arası ulaşımda bir alternatif oluşturmuştur. Fakat YHT durağının konumu incelendiğinde önemli merkezlere uzak olduğu ve durağa ulaşımın etkili bir şekilde sağlanması gerektiği görülmüştür. İlçe ve üniversite bağlantısının belediye otobüsleriyle optimum güzergâhların oluşturulması şartıyla sağlanması gerektiği tespit edilmiştir.

#### 4.2. Alternatiflerin Belirlenmesi (Determination of Alternatives)

Problemin tanımlanmasının ardından YHT istasyonu ile Kırıkkale ilinin 9 ilçesinin ve üniversitesinin bağlantısını kurabilmek için alternatif güzergâhlar belirlenmiştir. Balışeyh, Bahşili, Çelebi, Delice, Karakeçili, Keskin, Merkez, Sulakyurt, Yahşihan ve Kırıkkale Üniversitesi olmak üzere tüm alternatifler için belirlenen güzergâh alternatiflerinin her biri için hat uzunluğu ve zaman verisi Google Maps' ten yararlanarak bulunmuştur. Bahsi geçen 9 ilçe ve üniversitenin her biri için kendi güzergâh alternatifleri arasından optimum olanların belirlenmesi hedeflenmiştir. Oluşturulacak hatlardaki alternatif güzergâhlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Kırıkkale Üniversitesi: (K), Osmangazi: (O), Yahşihan: (Y), Karakeçili: (KA), Merkez: (M), Bahşili: (B), Balışeyh: (BA), Çelebi: (C), Delice: (D), Keskin: (KE), Sulakyurt: (S) olacak şekilde kısaltmalar kullanılmıştır.

#### 4.3. Kriterlerin Belirlenmesi (Determination of Criteria)

Alternatifleri belirlenen çalışmanın kriterlerini belirleme safhasında daha önce benzer konular üzerine yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Problemin çözümünde maliyet, zaman, çevre gibi faktörler üzerinde durularak, birbirleri arasında sonuçları olumsuz etkileyecek şekilde korelasyon bağı bulunan kriterlerin belirlenmesinden kaçınılmıştır. Kriterler; yakıt maliyeti, hizmet süresi, yolculuk süresi, önemli merkezlere yakınlık, CO<sub>2</sub> salınımı, nüfus yoğunluğu olarak belirlenmiştir.

Yakıt maliyeti; aracın km başına yaktığı miktarı (4.39₺/km) temsil etmektedir. Hat seçiminde en kısa olan hattın seçilmesi ile problem çözümüne en fazla faydayı sağlamaktadır. Hizmet süresi; toplu taşıma aracı fazla km yol yapar ise metal yorgunluğuna bağlı olarak çabuk bir şekilde hurdaya ayrılacağı için problemde ne kadar az km'lik hat tercih edilir ise o kadar değerlidir. Yolculuk süresi müşteri memnuniyeti bakımından önemlidir. Bundan kaynaklı olarak yolculuk süresi ne kadar kısa olur ise o kadar değerlidir. Önemli merkezlere yakınlık hem müşteri memnuniyeti hem de kazanç açısından güzergâh ne kadar çok önemli merkeze yakın olursa o kadar faydalıdır. CO<sub>2</sub> salınımının çevreye zararı bakımından ne kadar az olur ise o kadar değerlidir. CO<sub>2</sub> salınımı, gidilen km ile doğru orantılı olduğu için km bakımından kısa olan güzergâhlar öncelikli tercihimizdir. Nüfus yoğunluğu, kazanç açısından ele alınmıştır. Güzergâh üzerindeki nüfus yoğunluğu ne kadar fazla olur ise ulaşımda taşınacak yolcu sayısının fazla olacağından kazanılacak miktarda da doğru orantılı artış olacaktır. Bu yüzden güzergâh üzerindeki nüfus yoğunluğunun fazla olması problem çözümünde değerlidir.

Kriterler; Yakıt maliyeti [41][42], hizmet süresi [2], yolculuk süresi [2][16][43][44], önemli merkezlere yakınlık [2][3][18][19][44], CO<sub>2</sub> salınımı [3][14][19][41][43][44] ve nüfus yoğunluğu [19][43] olarak belirlenmiştir.

#### 4.4. Verilerin Toplanması (Data Collection)

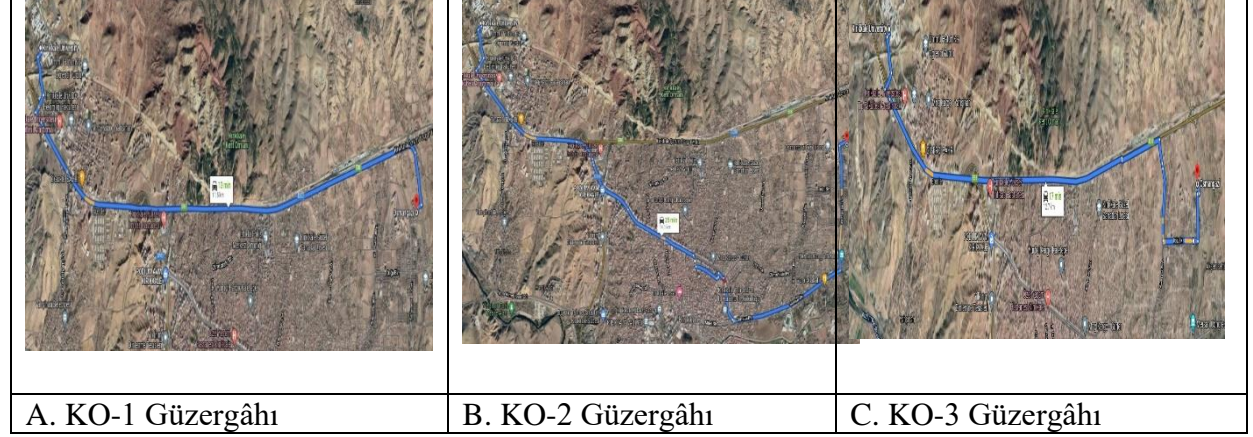
- Yakıt maliyeti: Projenin yapıldığı dönemin güncel mazot fiyatlarından elde edilmiştir.
- Yolculuk süresi ve önemli merkezlere yakınlık: Yolculuk sürelerinin zaman verileri ve önemli merkezlere yakınlık sayılarının belirlenmesinde Google Maps'ten yararlanılmıştır.
- Hizmet süresi: Metal yorgunluğu üzerine internette yapılan araştırmalar sonucunda yazarlar tarafından ortalama bir değer belirlenmiştir.
- CO<sub>2</sub> salınımı: Diler vd. [45] yaptığı çalışmadan belediye otobüslerinin CO<sub>2</sub> salınım değerleri belirlenmiştir.
- Nüfus yoğunluğu: İlçe nüfuslarının artması, güzergâhlar üzerindeki yolcu sayılarının artması ile doğru orantılı olacağından problem çözümünde nüfus yoğunluğu sayıları ele alınmıştır. İlçe nüfus değerleri elde edilirken TÜİK'ten yararlanılmıştır.
- Çalışmanın alternatifleri ve kriterleri belirlenmesi sonucunda Çizelge 2 ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 2.** Oluşturulacak hatlardaki alternatif güzergâhlar*Table 2. Alternative routes on the lines to be created*

Hat İsmi	Güzergâh Alternatifi	Güzergâh	Hat Uzunluğu	Zaman Verisi	Yakıt Verisi (4.39€/km)	Emisyon Değeri (1.15CO <sub>2</sub> /km)
KKU-OSM	Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	KO-1	11,5 km	13 dk.	50.49	13.22
	Samsun Bul.	KO-2	14,1 km	25 dk.	61.90	16.21
	Samsun Bul. ve Doğu Bul.	KO-3	12,7 km	17 dk.	55.75	14.6
Yahşihan-OSM	Cumhuriyet Cad. ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	YO-1	11,7 km	13 dk.	51.36	13.45
	Hoca Ahmet Yesevi Cad. ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	YO-2	13,1 km	15 dk.	57.51	15.06
	Hoca Ahmet Yesevi Cad., Millet Bul., Samsun Bul. ve Şirinevler Cad.	YO-3	13,9 km	24 dk.	61.02	15.98
Merkez-OSM	Millet Bul., Samsun Bul. ve Şirinevler Cad.	MO-1	6,1 km	10 dk.	26.78	7.01
	Millet Bul., Samsun Bul., Kanuni Bul. ve Doğu Bul.	MO-2	6,3 km	13 dk.	27.66	7.24
	Millet Bul., Karacalı Cad. ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	MO-3	8,1 km	12 dk.	35.56	9.31
Bahşili-OSM	Atatürk Bul., Kırıkkale-Kırşehir Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	BO-1	14,3 km	16 dk.	62.78	16.44
	Atatürk Bul., Millet Bul., Samsun Bul. ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	BO-2	13,7 km	24 dk.	60.14	15.75
	Atatürk Bul., Millet Bul., Samsun Bul. ve Şirinevler Cad.	BO-3	11,7 km	23 dk.	51.36	13.45
Balıseyh-OSM	Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	BAO-1	17,3 km	13 dk.	75.95	19.89
	Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu ve Samsun Bul.	BAO-2	18 km	16 dk.	79.02	20.7
Çelebi-OSM	Çelebi Yolu, Kırıkkale-Karakeçili Yolu, Kırıkkale-Kırşehir Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	CO-1	61,9 km	48 dk.	271.74	71.18
	Keskin Yolu, Kırıkkale-Kırşehir Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	CO-2	61,5 km	51 dk.	269.99	70.72
	Çelebi Yolu, Karakeçili-Kaman Yolu, Cemal Gürsel Cad., Samsun Bul. ve Şirinevler Cad.	CO-3	59,2 km	52 dk.	259.89	68.08
Delice-OSM	Kırıkkale-Çorum Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	DO-1	46,9 km	33 dk.	205.89	53.93
	Kırıkkale-Çorum Yolu, Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu ve Samsun Bul.	DO-2	47,6 km	35 dk.	208.96	54.74
Keskin-OSM	Ankara Cad., Kırıkkale-Kırşehir Yolu, Millet Bul., Samsun Bul. ve Şirinevler Cad.	KEO-1	33,1 km	37 dk.	145.31	38.06
	Ankara Cad., Kırıkkale-Kırşehir Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	KEO-2	35,6 km	30 dk.	156.28	40.94
Karakeçili-OSM	Şehit İsmail Taşdelen Sok., Karakeçili-Kaman Yolu, Kırıkkale-Kırşehir Yolu ve Cemal Gürsel Cad.	KAO-1	43,3 km	45 dk.	190.09	49.79
	Şehit İsmail Taşdelen Sok., Karakeçili-Kaman Yolu, Kırıkkale-Kırşehir Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	KAO-2	44,9 km	38 dk.	197.11	51.635
Sulakyurt-OSM	Balıseyh-Sulakyurt Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	SO-1	48,6 km	40 dk.	213.35	55.89
	Balıseyh-Sulakyurt Yolu, Balıseyh Yolu ve Kırıkkale-Çorum-Yozgat Yolu	SO-2	55,1 km	53 dk.	241.89	63.36
	Yükselen Cad. Ve Fatih Cad.	SO-3	46,3 km	59 dk.	203.26	53.24

\*Hat uzunluğu verileri, belirlenen alternatif güzergahların yolculuk süresi ile birlikte yalnızca uzunluklarının gösterilmesi amacı ile verilmiş olup, hiçbir hesaplama dahil edilmemiştir.

Çizelge 2'deki verilen hatlara bir örnek olarak Kırıkkale Üniversitesi-Osmangazi hattının üç alternatifi Şekil 5'teki haritalarda gösterilmiştir.



Şekil 5. Kırıkkale Üniversitesi – Osmangazi hattının alternatif güzergâhları

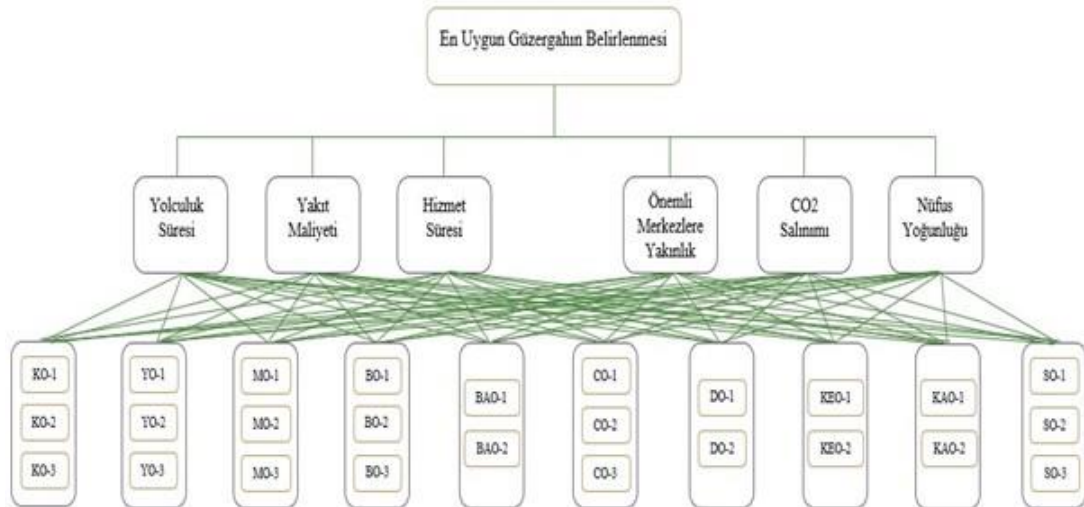
Figure 5. Alternative routes of Kırıkkale University – Osmangazi line

#### 4.5. Problemin Çözümü (Solution of the Problem)

Probleme ilgili veriler toplanmış, optimum güzergâha ulaşabilmek amacıyla sırasıyla AHP, TOPSIS ve PROMETHEE ile çözüme hazır hale getirilmiştir.

##### 4.5.1. Kriterlerin AHP yöntemi ile değerlendirilmesi (Evaluation of criteria with the AHP method)

Kriter ağırlıkları, uzmanların kıyaslaması sonucunda değer almıştır. AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları, TOPSIS ve PROMETHEE yönteminde kullanılmıştır. İlgili yöntemlerde alternatiflerin kendi değerleri kullanılarak değerler elde edilmiştir. İlk olarak hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. AHP yönteminde güzergâhların belirlenmesinde oluşturulan kriterlerin ve alternatiflerin hiyerarşik yapısı Şekil 6'da gösterilmiş, ardından problemde ele alınan kriterler AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir.



Şekil 6. AHP karar hiyerarşisi

Figure 6. AHP decision hierarchy

Kriterlerin ikili karşılaştırılması yapılırken, ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı, güzergâh belirleme problemlerinin de içinde bulunduğu çeşitli amaçlara yönelik olarak gerçekleştirilen akademik çalışmalarda bulunan alanında uzman yazarlar, ele alınan problemin amacını göz önünde bulundurup, amaca yönelik olarak belirlenen kriterlerin birbirlerine kıyasla önemlerine karar vermiş, bunun sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları alternatiflerin güzergâh alternatiflerini sonuçlandırmada kullanılmıştır. Her alternatif, her kritere göre kendi güzergâhları arasında ikili karşılaştırma yapılarak, sonuca varılmıştır. Kriterlerin ikili karşılaştırması Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Kriterler arası ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

*Table 3. Establishment of pairwise comparison matrix between criteria*

Kriterler	Yolculuk Süresi	Yakıt Maliyeti	Hizmet Süresi	Önemli Merkezlere Yakınlık	CO2 Salınımı	Nüfus Yoğunluğu
Yolculuk Süresi	1	3	4	0.25	5	2
Yakıt Maliyeti	0.33	1	4	0.33	3	0.5
Hizmet Süresi	0.25	0.25	1	0.2	2	0.2
Önemli Merkezlere Yakınlık	4	3.03	5	1	6	1
CO2 Salınımı	0.2	0.33	0.5	0.17	1	0.17
Nüfus Yoğunluğu	0.5	2	5	1	6	1

İkili karşılaştırılması oluşturulan kriterlerin, normalize matrisi Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Kriterler için normalize karar matrisi

*Table 4. Normalized decision matrix for criteria*

Kriterler	Yolculuk Süresi	Yakıt Maliyeti	Hizmet Süresi	Önemli Merkezlere Yakınlık	CO2 Salınımı	Nüfus Yoğunluğu
Yolculuk Süresi	0.16	0.31	0.21	0.08	0.22	0.41
Yakıt Maliyeti	0.05	0.10	0.21	0.11	0.13	0.10
Hizmet Süresi	0.04	0.03	0.05	0.07	0.09	0.04
Önemli Merkezlere Yakınlık	0.64	0.32	0.26	0.34	0.26	0.21
CO2 Salınımı	0.03	0.03	0.03	0.06	0.04	0.03
Nüfus Yoğunluğu	0.08	0.21	0.26	0.34	0.26	0.21

Normalize matrisi de belirlenen kriterler için AHP adımları uygulanmaya devam ettiğinde sonuca ulaşılmıştır. Sonuç Çizelge 5'te verilmiştir.

**Çizelge 5.** Kriterlerin yüzde önemleri ve tutarlılık oranı*Table 5. Percent significance and consistency of criteria*

Kriterler	Yüzde Önemi	CI	CR
Yolculuk Süresi	0.23	0.09	
Yakıt Maliyeti	0.12		
Hizmet Süresi	0.05	Lamda ( $\lambda$ )	0.073
Önemli Merkezlere Yakınlık	0.34		
CO2 Salınımı	0.04		
Nüfus Yoğunluğu	0.22	6.45	

#### 4.5.2. Problemin TOPSIS yöntemi ile çözümü (Solving the problem with the TOPSIS method)

AHP ile çözümü yapılarak kriter ağırlıkları bulunan problemin TOPSIS yöntemi ile çözümü yapılırken kriter ağırlıkları kullanılmış, hatlardaki alternatifler için en uygun sonuca ulaşılmıştır. KO için karşılaştırma matrisi Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 6.** KO'nun TOPSIS karar matrisi*Table 6. KO's TOPSIS comparison matrix*

	Yolculuk Süresi	Yakıt Maliyeti	Hizmet Süresi	Önemli Merkezlere Yakınlık	CO2 Salınımı	Nüfus Yoğunluğu
KO-1 Güzergâhı	90	90	100	60	95	70
KO-2 Güzergâhı	75	70	75	100	85	95
KO-3 Güzergâhı	85	80	85	80	90	80

KO'da örnek gösterildiği gibi tüm alternatifler sırası ile tüm kriterler için puanlandırılmış, verilen puanlara göre pozitif ve negatif ideal çözümlerine ulaşılmış ve Çizelge 7'de gösterilmiştir. Ulaşılan ideal çözümlere göre ideal çözüme görece yakınlıkları bulunmuştur. Çizelge 8'de bulunan ideal çözüme görece yakınlıkları büyükten küçüğe numaralandırılarak alternatifler arasından optimum güzergâh bulunmuştur.

**Çizelge 7.** KO'nun Pozitif İdeal ve Negatif İdeal çözümlerin oluşturulması*Table 7. Creation of KO's Positive Ideal and Negative Ideal solutions*

<b>Pozitif İdeal Çözüm</b>	14.30	7.75	3.31	24.04	4	14.65
<b>Negatif İdeal Çözüm</b>	11.92	6.03	2.48	14.42	2.43	10.8

**Çizelge 8.** S1+, S1- ve Ci\* değerleri*Table 8. S1+, S1- ve Ci\* values*

Alternatif	S1+	S1-	Ci*
KO-1 Güzergâhı	10.479	3.055	0.226
KO-2 Güzergâhı	2.420	10.487	0.813
KO-3 Güzergâhı	5.929	5.367	0.475

#### 4.5.3. Problemin PROMETHEE yöntemi ile çözümü (Solving the problem with the PROMETHEE method)

AHP ile çözümü yapılarak kriter ağırlıkları bulunan problemde örnek olarak Sulakyurt-Osmangazi (SO) alternatifi için PROMETHEE yöntemi ile çözüm yapılırken kriter ağırlıkları kullanılmış ve tercih fonksiyonu seçilerek, kriterlere göre alternatiflerin değerleri girilmiştir. Bahsedilen tüm değerler Şekil 7’de gösterilmiştir.

Scenario1	Yolculuk Suresi	Yakit Maliyeti	Hizmet Suresi	Onemli Merk...	CO2 Salinimi	Nufus Yogun...	
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
<b>Preferences</b>							
Min/Max	min	min	max	max	min	max	
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
<b>Statistics</b>							
Minimum	40,00	203,26	17,00	1,00	53,25	1700,00	
Maximum	59,00	241,89	19,00	2,00	63,27	3000,00	
Average	50,67	219,50	18,00	1,67	57,47	2171,00	
Standard Dev.	7,93	16,36	0,82	0,47	4,24	588,00	
<b>Evaluations</b>							
<input checked="" type="checkbox"/>	SO-1	40,00	213,35	18,00	2,00	55,89	1813,00
<input checked="" type="checkbox"/>	SO-2	53,00	241,89	17,00	2,00	63,27	3000,00
<input checked="" type="checkbox"/>	SO-3	59,00	203,26	19,00	1,00	53,25	1700,00

Şekil 7. SO'nun PROMETHEE ağırlıklı matrisi tablosu

Figure 7. SO'S PROMETHEE weighted matrix table

Şekil 7’deki gerekli hücrelerin doldurulmasının ardından program içerisinde bulunan “PROMETHEE Table” butonuna basarak Şekil 8’deki PROMETHEE sonuç tablosu elde edilmiştir. Buna göre Sulakyurt-Osmangazi (SO) için en uygun güzergâh, SO-1 güzergahı olarak seçilmiştir.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	SO-1	0,2158	0,4167	0,2008
2	SO-3	-0,0283	0,3050	0,3333
3	SO-2	-0,1875	0,2500	0,4375

Şekil 8. SO'nun PROMETHEE sonuç tablosu

Figure 8. SO's PROMETHEE result table

#### 4.5.4. Güzergahın Belirlenmesi (Determining the Route)

AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinde kullanılması sonucunda her iki çözüm yöntemine göre de KO-2, YO-3, MO-3 ve BO-2 güzergahları birinci sırada yer almış, geriye kalan alternatiflerdeki ilk, ara ve son sırada yer alan güzergahlar ise çözüm yöntemlerine göre farklılıklar göstermiştir. Sonuçların daha detaylı ve karşılaştırılmalı hali Çizelge 9’da sunulmuştur.

Çizelge 9. Genel sonuç tablosu

Table 9. General result table

Hat	Güzergâh	AHP-TOPSIS Çözümü		AHP-PROMETHEE Çözümü	
		Ci Değeri	Sıra	Net Flow	Sıra
Kırıkkale Üniversitesi – Osmangazi	KO-1	0.226	3	-0.661	3
	KO-2	0.813	1	0.839	1
	KO-3	0.475	2	-0.177	2
Yahşihan-Osmangazi	YO-1	0.334	3	-0.478	3
	YO-2	0.546	2	-0.262	2
	YO-3	0.666	1	0.739	1
Merkez - Osmangazi	MO-1	0.422	2	-0.636	3
	MO-2	0.106	3	0.045	2
	MO-3	0.869	1	0.591	1
Bahşili-Osmangazi	BO-1	0.382	3	-0.324	2
	BO-2	0.587	1	0.668	1
	BO-3	0.495	2	-0.344	3
Balışeyh-Osmangazi	BAO-1	1	1	-0.447	2
	BAO-2	0	2	0.447	1
Çelebi-Osmangazi	CO-1	0.547	1	-0.429	3
	CO-2	0.489	2	-0.174	2
	CO-3	0.404	3	0.603	1
Delice – Osmangazi	DO-1	0.923	1	-0.896	2
	DO-2	0.077	2	0.896	1
Keskin-Osmangazi	KEO-1	0.262	2	0.017	1
	KEO-2	0.738	1	-0.017	2
Karakeçili-Osmangazi	KAO-1	0.233	2	0.688	1
	KAO-2	0.767	1	-0.688	2
Sulakyurt-Osmangazi	SO-1	0.492	2	0.2158	1
	SO-2	0.372	3	-0.1875	3
	SO-3	0.522	1	-0.0283	2

Çözüm yöntemlerinin sonuçları karşılaştırıldığında iki yöntemde de ortak sonuca ulaşılan güzergâhlar şu şekildedir; Kırıkkale Üniversitesi – Osmangazi hattı için 2. güzergâh, Yahşihan – Osmangazi için 3. güzergâh, Merkez – Osmangazi için 3. güzergâh, Bahşili – Osmangazi için 2. güzergâh birinci sırada yer alarak en uygun güzergâh olarak belirlenmişlerdir. Bahsi geçen güzergâhlar dışındaki ilçeler için alternatif güzergâhların sıralamaları çözüm yöntemlerine göre farklılık göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Artan nüfusun sonucu olarak gün geçtikçe şahsi araç sayısı ve trafik yoğunluğunda artış gözlenmektedir. Gözlenen bu yoğunluktan dolayı ulaşımın aksamasını engellemek ve ulaşım yollarını geliştirmek amacıyla yeni yatırımlar yapılmaktadır. Ulaşım için bahsi geçen yeni yatırımlardan birisi de YHT projesidir. Kırıkkale ilinde YHT istasyonunun kurulacak olması ile ilçe bağlantılarının sağlanması amacıyla güzergâh belirleme problemi ortaya çıkmaktadır. Yolcu memnuniyetini en üst seviyede tutacak, işletmenin ise minimum maliyetlerle operasyon yapmasını sağlayacak en iyi güzergâh planlarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada ise CO<sub>2</sub> salınımı, hizmet süresi, nüfus yoğunluğu, önemli merkezlere yakınlık, yakıt maliyeti ve yolculuk süresi olmak üzere altı adet kriter göz önünde bulundurularak, optimum güzergâh belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Problemin çözümünde birden



fazla kriter bulunduğundan dolayı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımının uygun olduğuna karar verilmiş, kriterlerin değerlendirilmesi aşamasında AHP yönteminden yararlanılmış, çözüm aşamasında ise alternatiflerin sıralandırılması için AHP metodundan elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Bahsi geçen çözüm yöntemlerinin sonuçları karşılaştırıldığında her iki yöntem için de Kırıkkale Üniversitesi – Osmangazi hattı için 2. güzergâhın, Yahşihan – Osmangazi için 3. güzergâhın, Merkez – Osmangazi için 3. güzergâhın, Bahşili – Osmangazi için 2. güzergâhın birinci sırada yer aldığı tespit edilmiştir. İlgili güzergahlar dışında yer alan diğer ilçeler için alternatif güzergahların sıralamaları çözüm yöntemlerine farklılık göstermektedir.

Çalışma Kırıkkale ilindeki tüm ilçelerin YHT bağlantısının sağlanmasının yanında üniversite bağlantısını da içermektedir. Problemin kapsadığı geniş alan ve değerlendirmeye aldığı veri miktarının büyüklüğü ile son derece kapsamlı bir çalışma olarak ilk defa yapılmış olup, yapılan diğer benzer güzergâh belirleme problemlerinden ayrılarak, bu özelliği ile literatüre katkı sağlamaktadır. Problemin amacına yönelik olarak belirlenen kriterler AHP yöntemi ile değerlendirilmiş, değerlendirme sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinde kullanılarak, çözümler gerçekleştirilmiş, çözümlerden sağlanan sonuçların karşılaştırılması ile de literatüre katkı sağlamaktadır.

İleride yapılabilecek projelerde bu çalışmanın sonuçları kullanılarak durak yeri belirleme problemi için farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak, çözülebilir. Aynı zamanda çözüm önerisi sunulan problemin matematiksel modeli kurularak, farklı çözüm yöntemleri ile çözülmesi sonucunda mevcut sonuçlar sıranabilir.

#### **Etik Standartlar Bildirimi (Declaration of Ethical Standards)**

Çalışma etik standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

#### **Yazar Katkı Beyannamesi (Credit Authorship Contribution Statement)**

Buse BAYRAM: Çalışmada ele alınan probleme ilişkin verilerin toplanması, çözüm yöntemlerinin uygulanması ve sonuçların raporlanması.

Mert KARA: Çalışmada ele alınan probleme ilişkin verilerin toplanması, çözüm yöntemlerinin uygulanması ve sonuçların raporlanması.

Ahmet CÜREBAL: Problemin tanımlanması, literatürün taranması ve sonuçların yorumlanması.

Rabia YUMUŞAK: Çalışmada kullanılan yöntemlerin belirlenmesi ve sonuçların yorumlanması.

Tamer EREN: Çalışmada kullanılan yöntemlerin belirlenmesi ve sonuçların doğrulanması.

#### **Çıkar Çatışması Beyannamesi (Declaration of Competing Interest)**

Yazarların arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Veri Kullanılabilirliği (Data Availability)**

Makalede kullanılan veriler paylaşımına açıktır.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] T. Eren, M. Hamurcu and H. M. Alağaç, "Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile Kırıkkale yüksek hızlı tren istasyon yerinin seçimi", *In 5th International Symposium on Innovative Technologies*

- in Engineering and Science (ISITES2017)*, Baku-Azerbaijan, pp. 29-30, September 2017.
- [2] B. Sarımehtem, M. Hamurcu and T. Eren, "Çok Kriterli Karar Verme: Kırıkkale YHT istasyonu-şehir bağlantısının sağlanması", *Demiryolu Mühendisliği*, Vol. 11, pp. 26-40, 2020.
- [3] M. Hamurcu, "Ankara'da Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleriyle monoray güzergâhu belirleme", Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2016.
- [4] M. Hamurcu and T. Eren, "Ankara Büyükşehir Belediyesi'nde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ile monoray güzergâh seçimi", *Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, İstanbul, Türkiye, pp 410-419, 2015.
- [5] A. Farkas, "Route/site selection of urban transportation facilities: An integrated GIS/MCDM Approach", *In 7th International Conference On Management, Enterprise and Benchmarking*, June, pp. 5-6, 2009.
- [6] H. W. Chang and H. N. Hsieh, "Recreational cycling routes investment selection-hsinchu technopolis case by Applying ZOGP", *Journal Of The Eastern Asia Society For Transportation Studies*, Vol. 10, No. 0, pp. 1227-1242, 2013.
- [7] H. Y. Kim, D. F. Wunneburger and M. Neuman, "High-Speed rail route and regional mobility with A Raster-Based Decision Support System: The Texas Urban Triangle Case", *Journal Of Geographic Information System*, Vol. 5, No. 6, pp. 559, 2013.
- [8] C. Kurlangoçlu, "Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Raylı Sistem Güzergâh Tasarımı: İstanbul Örneği", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- [9] N. G. A. Alkawaaz and N. M. Asmael, "A GİS-Assisted optimal BAGHDAD Metro Route Selection based On Multi Criteria Decision Making", *Journal Of Engineering and Development*, Vol. 19, No. 6, pp. 44-58, 2015.
- [10] B. Tezcan, H. M. Alakaş, E. Özcan and T. Eren, "Afet sonrası geçici depo yeri seçimi ve çok araçlı araç rotalama uygulaması: Kırıkkale ilinde bir uygulama", *Politeknik Dergisi*, 2021.
- [11] H. M. Arslan and E. Yavuzylmaz, "Seyahat işletmelerinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile optimum güzergâhın belirlenmesi", *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Vol. 26, pp. 171-185, 2021.
- [12] H. Güvez, M. Dege and T. Eren, "Kırıkkale'de araç rotalama problemi ile tıbbi atıkların toplanması", *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 4, No. 1, pp. 41-45, 2012.
- [13] M. Hamurcu and T. Eren, "Kentsel ulaşımında güzergâh belirleme için kullanılan kriterler: literatür araştırması" *Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, İstanbul, pp. 280-286, 2016.
- [14] M. Hamurcu and T. Eren, 2017 "Toplu taşıma türünün seçiminde Çok Kriterli Karar Verme uygulaması", *In International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET)*, Cilt 3, ss. 1-13.
- [15] M. Hamurcu and T. Eren, "Transportation planning with Analytic Hierarchy Process and Goal Programming", *International Advanced Researches and Engineering Journal*, Vol. 2, No. 2, pp. 92-97, 2018.
- [16] İ. C. Özçelik and T. Eren, "Kütahya-Tavşanlı dolmuş hattının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, Vol. 4, No. 3, pp. 97-111, 2019.
- [17] S. Dinç, M. Hamurcu and T. Eren, "Ankara-Sivas yüksek hızlı tren hattında istasyon yerlerinin seçiminde Çok Kriterli Karar Verme destekli 0-1 Hedef Programlama Modeli", *Demiryolu Mühendisliği*, Vol. 9, pp. 1-16, 2019.
- [18] T. Eren, M. Hamurcu and N. İ. Süt, "Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak Ankara-Sivas yüksek hızlı tren hat güzergâhının değerlendirilmesi", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, Vol. 3, No. 3, pp. 22-30, 2018.
- [19] D. Toraman, "Mekansal Çok Ölçütlü Karar Analizi: Ulaştırma İçin Güzergâh Seçenekleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,

- 2009.
- [20] V. Yildirim and S. Bediroglu, "A geographic information system-based model for economical and eco-friendly high-speed railway route determination using analytic hierarchy process and least-cost-path analysis", *Expert Systems*, Vol. 36, No. 3, pp. e12376, 2019.
- [21] Baran E., "Route determination for capacitated vehicle routing problem with two different hybrid heuristic algorithm", *International Journal of Engineering Science and Application*, Vol. 2, No. 2, pp. 41-46, 2018.
- [22] V. Yıldırım, T. Yomralıoğlu, "Nabucco pipeline route selection through Turkey comparison of a GIS-Based Approach to a traditional route selection approach", *Oil Gas European Magazine*, Vol. 37, No. 1, pp. 20-24, 2011.
- [23] L. A. Silman, Z. Barzily and U. Passy, "Planning the route system for urban buses", *Computers & operations research*, Vol. 1, No. 2, pp. 201-211, 1974.
- [24] Z. Wang and S. Zlatanova, "Safe route determination for first responders in the presence of moving obstacles", *Ieee Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Vol. 21, No. 3, pp. 1044-1053, 2019.
- [25] G. Navratil, "Curviness as a Parameter for Route Determination", *GI\_Forum*, pp.355-364, 2012.
- [26] S. A. Almasi, M. M. Khabiri, M. F. Tafti and M. Akbarzadeh, "Optimal route determination to provide relief following an earthquake using the traffic density ratio (case study: Isfahan's fire stations)", *Communications-scientific letters of the University of Zilina*, Vol. 23, No. 1, pp. F20-F32, 2021.
- [27] N. Hariharan, S. P. Sankar, V. Vishnu and A. Meignanavel, "Route determining technology using DESBOR and GPS", *In 2010 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, pp. 1-6, 2010.
- [28] Y. B. Kang, S. S. Kim, "A new route determination approach using future traffic prediction", *WSEAS Transactions on Systems*, Vol. 4, No. 6, pp. 804-811, 2005.
- [29] Ö. Özkan, "Personel seçiminde karar verme yöntemlerinin incelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSIS örneği", Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2007.
- [30] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, USA, 1980.
- [31] Ö. Aydın, "Bulanik AHP ile Ankara için hastane yer seçimi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Vol. 24, No. 2, pp. 87-104, 2009.
- [32] T. Eren, T. Danişan, A. Deringöz and G. Aksüt, "Comparison and selection of patient follow-up systems for covid-19 pandemic patients", *Fashion and Textiles*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-13, 2022.
- [33] R. Yumuşak, E. C. Özcan, T. Danişan and T. Eren, "AHP – TOPSIS - Tam Sayılı Programlama entegrasyonu ile hidroelektrik santrallarda bakım strateji optimizasyonu", *Uluslararası GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi*, pp. 80-84, Şanlıurfa, 10-12 Mayıs, 2018.
- [34] Z. N. Turgut, T. Danişan and T. Eren, "Spor yapanlar için en uygun akıllı saatin AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile seçimi", *Uluslararası Beden Eğitimi Spor ve Teknolojileri Dergisi*, Vol. 1, No. 2, pp. 1-11, 2020.
- [35] C. L. Hwang and K. Yoon, "Multiple attribute decision making: Methods and applications", Berlin: Springer, 1981.
- [36] M. Akçay and M. Atak, "Optimal site selection for a solar power plant in Turkey using a hybrid AHP-TOPSIS method", *Celal Bayar University Journal of Science*, Vol. 14, No. 4, pp. 413-420, 2018.
- [37] E. C. Özcan, T. Danişan, R. Yumuşak and T. Eren, "An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants", *Eksploatacja I Niezawodność- Maintenance and Reliability*, Vol. 21, No. 3, pp. 400-418, 2020.
- [38] E. C. Özcan, R. Yumuşak and T. Eren, "Risk Based Maintenance in the Hydroelectric Power Plants", *Energies*, Vol. 12, pp. 1502-1523, 2019.
- [39] J. P. Brans, "L'ingenierie de la decision: Elaboration d'instruments d'aide a la decision. La Methode

- PROMETHEE", Universite Laval, Colloque d'aide a la Decision, Quebec, Canada, pp. 183- 213, 1982.
- [40] S. E. Dinçer, E. Ekin and K. S. Karakaş, "Promethee yöntemiyle uçak komponentlerinin önceliklendirilmesi problemlerine çözüm yaklaşımı", *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, Vol. 6, No. 3, pp. 106-125, 2017.
- [41] M. Taş, Ş. N. Özlemiş, M. Hamurcu and T. Eren, "Ankara'da AHP ve PROMETHEE yaklaşımıyla monoray hat tipinin belirlenmesi", *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, Vol. 3, No. 1, pp. 65-8, 2017.
- [42] E. Yazıcı, H. M. Alakaş, S. Cebeci, E. E. Yılmaz and Eren T., "Toplu ulaşım sistemlerinde araç tipi seçimi: Kırıkkale kampüs hattı örneği", *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Vol. 11, No. 1, pp. 269-287, 2021.
- [43] S. Dinç, M. Hamurcu and Eren T., "Kırıkkale kampüs dolmuş hattı etkinliğinin Çok Kriterli Karar Verme ile değerlendirilmesi", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol. 9, No. 1, pp. 238-247, 2018.
- [44] K. Üke, "AHP yöntemi ile Çorum şehrinde avm kuruluş yeri seçimi", Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çorum, 2016.
- [45] A. Diler, M. Tektanlı, C. Soruşbay and M. Ergeneman, "Doğalgaz yakıtlı otobüslerin sera gazı emisyonlarına etkisi", Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu-2008, Hatay, pp. 244-255, 22-25 Ekim 2008.