



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Ulaştırma projeleri fizibilite etütlerinde bulanık çok kriterli bir değerlendirme modeli

## *A fuzzy multi-criteria assessment model for feasibility studies of transportation projects*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Özlem BATTAL ŞAL<sup>1\*</sup>, M. Kürşat ÇUBUK<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0002-2308-7933

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0001-8155-7123

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Battal Şal Ö. ve Çubuk M. K., “Ulaştırma projeleri fizibilite etütlerinde bulanık çok kriterli bir değerlendirme modeli”, *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1191-1199, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.881067

# Ulaştırma Projeleri Fizibilite Etütlerinde Bulanık Çok Kriterli Bir Değerlendirme Modeli

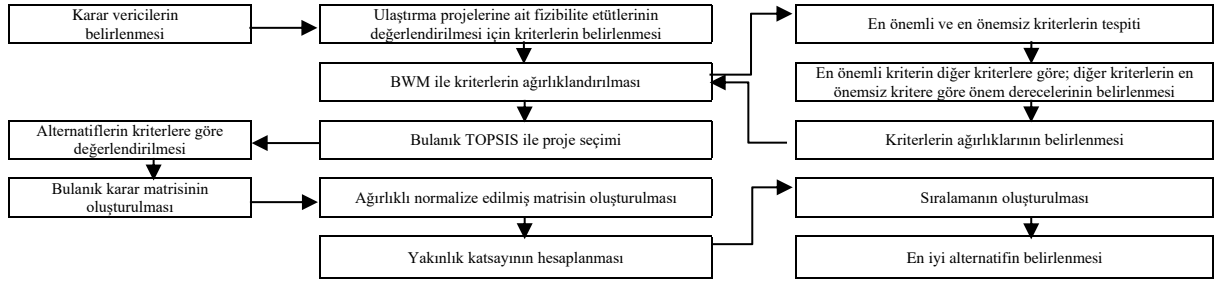
## A Fuzzy Multi-Criteria Assessment Model for Feasibility Studies of Transportation Projects

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Fizibilite etütlerinin değerlendirilmesinde bulanık tabanlı bir model önerilmektedir. / A fuzzy-based model is recommended for the assessment of feasibility studies.
- ❖ Yorum tahminleri için bulanık mantık kullanılmaktadır. / Fuzzy logic is used for the estimation of comments.
- ❖ Değerlendirmede kapsamlı kriterler dikkate alınmıştır. / Comprehensive criteria are taken into account in the assessment.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Ulaştırma projeleri fizibilite etütlerinin değerlendirilmesi için bulanık ortamda geliştirilmiş bir karar modeli önerilmiştir. / A decision model developed in fuzzy environment has been proposed for the evaluation of transportation projects feasibility studies.



Şekil. Sürecin adımları/Figure. Steps of the process

### Amaç (Aim)

Ulaştırma yatırımlarına karar vermeden önce hazırlanan fizibilite etütlerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve seçilmesi amaçlanmıştır. / It is aimed to comprehensively evaluate and select the feasibility studies prepared before deciding on transportation investment.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çözüm aşamasında BWM ve bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. / BWM and fuzzy TOPSIS methods were used in the solution phase.

### Özgünlük (Originality)

Bulanık ortamda çok kriterli bir karar verme modeli kullanılarak ulaştırma projeleri fizibilite etütleri değerlendirilmiştir. / Feasibility studies of transportation projects were evaluated using a multi-criteria decision-making model in a fuzzy environment.

### Bulgular (Findings)

Ulaştırma projeleri fizibilite etütlerinin değerlendirilmesinde ekonomi, teknoloji ve ulaşırmaya ait kriterler proje seçiminde etkili kriterlerdir. / In the evaluation of transportation projects feasibility studies, the criteria of economy, technology and transportation are effective criteria in project selection.

### Sonuç (Conclusion)

Bulanık çok kriterli karar verme metodlarından geliştirilen modelin kullanılması ile fizibilite etütlerinin gerçek zamanlı değerlendirilmesinin sağlanacağı öngörülmüştür. / It is predicted that real-time evaluation of feasibility studies will be provided by using the model developed from fuzzy multi-criteria decision making methods.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Ulaştırma Projeleri Fizibilite Etütlerinde Bulanık Çok Kriterli Bir Değerlendirme Modeli

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Özlem BATTAL ŞAL<sup>1\*,2</sup>, M. Kürşat ÇUBUK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat ABD. Doktora Öğrencisi, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 16.02.2021 ; Kabul/Accepted : 10.05.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 25.05.2021)

## ÖZ

Ulaştırma yatırımları değerlendirme aşamasında teknik, ekonomik, mali, olmak üzere birçok yönden incelenmektedir. Bu amaçla hazırlanan fizibilite etütleri; yatırımın amaçlarını belirlemeyi, projelerin tüm aşamalarında görülebilecek problemleri tespit etmeyi ve yatırımın gerçekleşmesi durumunda sağlanacak faydaları görmeyi sağlamaktadır. Fizibilite etütlerinin değerlendirilmesi her şeyden önce bilimsel esaslara dayalı olmalıdır. Bu çalışmada fizibilite etütlerini değerlendirmek için üç aşamalı bir model geliştirilmiştir. Aşama 1’de kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. Aşama 2’de kriterlerin önem seviyelerinin belirlenmesinde Best-Worst Method (BWM) kullanılmıştır. Aşama 3’te fizibilite etütlerinin değerlendirilmesi için bulanık tabanlı Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ile oluşturulan bir model önerilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için güncel projeler alternatif olarak belirlenmiştir. Beş proje alternatif olarak belirlendikten sonra Alternatif 2 en iyi alternatif olarak bulunmuştur. Yapılan çalışma ile ekonomi, teknoloji ve ulaştırmanın fizibilite etütlerinin değerlendirilmesinde daha etkili kriterler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaştırma yatırımları, fizibilite etütleri, best worst method, bulanık TOPSIS.

## A Fuzzy Multi-Criteria Assessment Model for Feasibility Studies of Transportation Projects

### ABSTRACT

Transportation investments are examined from many aspects, including technical, economic and financial, during the evaluation phase. Feasibility studies prepared for this purpose; It enables to identify the objectives of the investment, to see the problems that can be seen at all stages of the projects and the benefits to be gained in case the investment is realized. Evaluation of feasibility studies should be based on scientific principles above all. In this study, a three-stage model has been developed to evaluate feasibility studies. Criteria and alternatives were determined in stage 1. In stage 2, Best-Worst Method (BWM) for determining the level of significance of the criteria were used. In stage 3, a multi-criteria model created with fuzzy-based Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is proposed for the feasibility studies assessment. Current projects have been identified as alternatives to indicate the efficiency of the recommended process. After five projects were determined as alternatives, Alternative 2 was found as the best alternative. With the study, it was concluded that economy, technology and transportation are more effective criteria in the evaluation of feasibility studies.

**Keywords:** Transportation investments, feasibility studies, best worst method, fuzzy TOPSIS.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ulaştırma, demiryolu, karayolu, denizyolu, havayolu ve boru hatları olmak üzere beş farklı sistemden meydana gelmektedir[1]. Belirtilen sistemleri tercih ederken talebini etkileyen faktörler; ulaşım sistemlerinin gelişmesi, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan sosyal refahın gelişmesi şeklinde sıralanabilir[2]. İlgili kurumlar bu faktörleri göz önünde bulundurarak değerlendirme prosedürlerini kullanmaktadır. Bu değerlendirme prosedürleri, projenin teknik açıdan değerlendirilmesi ile finansman maliyetleri, projenin sosyal yönden değerlendirilmesi gibi temel konuları dikkate almalıdır[3].

Fizibilite etütlerinin değerlendirilmesinde, seçme veya sıralama işlemlerinde birçok farklı metot kullanılabilir. Kullanılacak yöntem, projenin hedefi ile yakından ilişkili olmalıdır. Bu amaçla çok kriterli karar verme teknikleri, değerlendirme yapılırken alınan kararlarda, uzman görüşünü de içine alan yöntemleri de içermektedir. Çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) bilgiyle deneyimi sürece dahil ederek, daha etkin sonuçların elde edilmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmada ulaştırma yatırımlarının yapılıp yapılmayacağına karar vermede etkili olan fizibilite etütlerinin değerlendirilmesinde ve sıralanmasında çok kriterli karar verme tekniklerinin entegrasyonundan faydalanılan bir model önerilmiştir.

Çalışma temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde fizibilite etütlerine ilişkin temel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümün ilk kısmında BWM ve ikinci kısımda

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ozlembattal@karabuk.edu.tr

bulanık TOPSIS yöntemlerini açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde karar vericilerin verdikleri puanlarla kriterlerin önem dereceleri tespit edilmiş ve projelerin değerlendirilmeleri alınmıştır. Elde edilen değerlendirmelerle bulanık TOPSIS yöntemi ile projelerin sıralaması yapılmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçların genel değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR (LITERATURE)

Bu bölümde, ulaştırma projelerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme modeliyle bağlantılı kısa bir literatür araştırması sunulmuştur. Karar verme algoritmaları, karar vericilerin kararlarını daha iyi bir şekilde rasyonalite ve verimlilik açısından değerlendirmelerini kesinlikle geliştirir[4]. Genel olarak karar vericiler, bir karar matrisi oluşturmak için karar kriterlerini değerlendirmeleri istendiğinde, kesin sayıları karar değeri olarak ifade etmekten kaçınırlar. Kesin verileri elde etmede yaşanan zorluklar, etkin tahminlerde bulunabilmek için yeni yaklaşımlar geliştirmeye zorlamaktadır.

Literatürde, ulaştırma projelerinin ekonomik ve finansal sorunlarının çözümü için önerilen birçok çok kriterli karar verme yöntemi vardır[5]. Steuer ve Na[6], 250'den fazla literatür indeksine dayanarak bu problemin en geniş incelemesini sundular. Wang[7], Mohamed ve McCowan[8] ve Li ve Sterali[9], çalışmalarında mali proje tahminlerini çok kriterli karar verme yöntemleri ile yapmışlardır.

Proje değerlendirme metodolojileri arasında çok kriterli karar verme yöntemleri artan popüleriteye sahiptir[10]. Çok kriterli karar verme yöntemleri, subjektif karar vericilerin tercihlerini dikkate almaya ve bunları objektif nicel ölçülere dönüştürmeyi sağlar[11]. Birçok açıdan değerlendirmeyi gerçekleştirmenin şeffaf olması, özellikle ulaştırma projelerini analiz etmek için önemlidir[12]. Bu nedenle birçok raporda, ulaşım ile ilgili yatırımların değerlendirilmesinde ÇKKV tekniklerinden faydalanılmıştır[10],[13],[14],[15],[16].

Ulaştırma projelerinin seçim süreci belirsiz bir ortamda da gerçekleşebilmektedir. Çünkü bazı hedeflerin ve kriterlerin kesin değerlerle belirlenebilmesi genellikle zordur ve genellikle ihmal edilir. Kesin değerlere dayalı sayısal ifade içeren modeller, karar vericilerin belirsizliklerini etkin bir şekilde ele alamaz. Ulaşım projelerini sadece nitel parametrelerle ölçmek akıllıca değildir. İyi bir değerlendirme de hem nicel hem de nitel kriterler ele alınmalıdır[17].

Shelton ve Medina[18], El Paso Metropolitan Planlama Organizasyonları Ulaşım İyileştirme Programının (TIP) farklı altyapı projelerine ilişkin nihai proje sıralamalarını elde etmek için TOPSIS, kriter ağırlıklarını belirlemede de AHP metodlarını kullanmıştır. Çin, Ningbo'daki alternatif altyapı projelerinin değerlendirilmesi için ANP metodolojisi uygulanmıştır[19]. Dört alt ağdan oluşan bir değerlendirme yapısı oluşturular; faydalar, fırsatlar, maliyetler ve riskler. Benzer bir metodoloji de

İstanbul'daki yoğun şehir içi geçiş koridoru için (Mecidiyeköy'den Topkapı'ya) metrobüs ve hafif raylı geçiş arasında seçime yardımcı olmak için Topcu ve Onar [20] tarafından uygulanmıştır. Bununla birlikte, her iki uygulamada da kapsamlı kriter listesi ve modelin boyutu, karmaşık ve zaman alıcı bir prosedürle sonuçlanır.

Awasthi, Omrani ve Gerber[21], Lüksemburg kentinde üç kentsel hareketlilik projesinin değerlendirilmesi için bulanık TOPSIS, VIKOR ve GRA olmak üzere üç çok kriterli karar verme tekniğinin daha fazla kriteri dikkate alarak uygulanmasını incelemiştir. Bu çalışma, model sonuçlarının doğrulanması ve karar kalitesinin iyileştirilmesi için tüm yöntemlerin farklı seçenekler sıralaması ürettiği sonucuna varmaktadır.

Bu çalışmanın odak noktası alternatifleri nicel olarak değerlendirme, alternatifleri çok sayıda kriterle değerlendirmek ve ideal çözüme yakınlığa dayalı sıralamalar oluşturabilmeleridir. Bu amaçla, TOPSIS metodu ulaştırma projelerinin fizibilite etütlerinin değerlendirmesi için bulanık küme teorisi ile birleştirilmiştir. Bulanık ortamda oluşturulan sıralamaların tutarlı olup olmadığı, en iyi fizibilite etüt projesinin seçimi ile ilgili kararın nasıl verilmesi gerektiği de önerilen modelde yer almıştır.

## 3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Önerilen çözüm yaklaşımı üç temel aşamadan oluşmuştur: (1) Modelde kullanılacak kriterlerin, alternatiflerin ve dilsel değişkenlerin belirlenmesi, karar vericilerin alternatifleri değerlendirmesi (2) Fizibilite etütlerinin değerlendirilmesi için belirlenen ana kriterlerin ve alt kriterlerin BWM ile önem derecelerinin belirlenmesi, (3) Alternatiflerin bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanması şeklindedir. Ulaştırma projelerine ait fizibilite etüdü seçimi için önerilen modelin şematik diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.

### 3.1. Değerlendirme Kriterlerinin Seçimi (Selection of Evaluation Criteria)

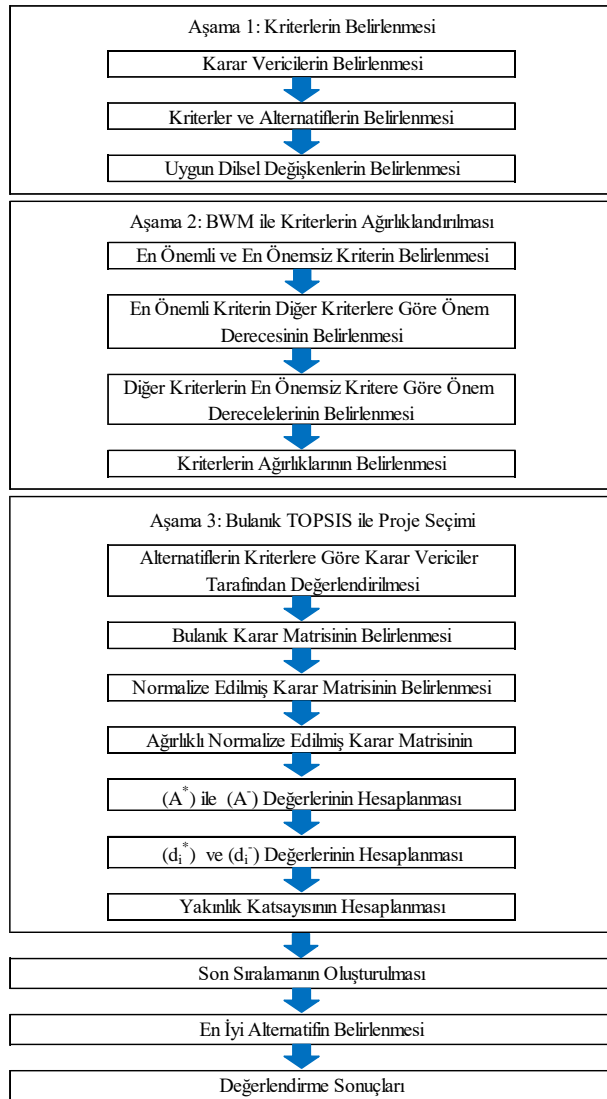
Ulaştırma projelerine ait fizibilite etüdü değerlendirilmesi için kriterler belirlenirken bilimsel literatürden faydalanılmıştır. Teknik, organizasyon, bilgi, ulaştırma, ulaşım talepleri, ekonomik, mali, sosyal ve teknolojik olmak üzere dokuz ana kriter kategorisi önerilmiştir. Nihai liste dokuz ana kriter ve otuz altı alt kriterden oluşmaktadır. Dokuz ana kriterin gösterimi (K1), otuz altı alt kriterin gösterimi de ilgili ana kriterin gösterimine bağlı olarak (K11), (K12) şeklinde artan sayıda gösterilmiştir. Fizibilite etütlerinin değerlendirilmesinde kullanılan yetmiş dört kriter ise (DK1) şeklinde artan sayıda gösterilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1'de, (DK17), (DK21), (DK30), (DK43), (DK44), (DK45), (DK46), (DK54), (DK56), (DK57), (DK58), (DK59), (DK61) ve (DK64) kriterleri maliyet kategorisi kriterleridir, yani değer ne kadar düşüğe, fizibilite etüdünde bu durum avantaj olarak değerlendirilmiştir. Kalan kriterler fayda kriterleridir yani

**Çizelge 1.** Değerlendirme kriterleri (Assessment criteria)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Alt Kriterlere Bağlı Kriterler
Teknik Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K1)	Projenin Amacı (K11)	Amacın tanım derecesi (DK1) Proje amacının netliği (DK2)
	Projenin Hedefleri (K12)	Hedeflerin sayısı/çeşitliliği (DK3)
		Hedeflerin netliği/belirsizliği (DK4)
		Hedeflerin tanım derecesi (DK5)
	Paydaşlar (K13)	Paydaşların çeşitliliği/sayısı (DK6)
		Paydaşların hedefleri (DK7)
		Paydaşların hedeflerinin netliği (DK8)
		Paydaşların bakış açılarının çeşitliliği (DK9)
	Çalışma Alanı (K14)	Arazi kullanım yapısı (DK10)
		Arazi kullanımı ve imar durumu (DK11)
		Sosyoekonomik durumu (DK12)
	Nüfus ve İstihdam (K15)	Bölgedeki yerleşim ve iş merkezleri nüfus kullanım oranları (DK13)
Çevresel Faktörler (K16)	Tarihi ve doğal miras programı alanları (DK14)	
	Sosyal tesisler (DK15)	
	Doğal çevre kaynakları (DK16)	
	Tehlikeli maddeler (DK17)	
Organizasyon Yönteminden Yapılabilirlik Faktörleri (K2)	İdari yapı (K21)	Projede görev alan personel sayısı (DK18) Katılımcıların mesleki yeterlilikleri (DK19)
	Planlama ve programlama (K22)	Projede kullanılan yöntem ve uygulama çeşitliliği (DK20) Değişiklik taleplerinin projenin yürütülmesine etkisi (DK21)
	Bilgi edinimi (K31)	Yeni bilgi toplanması (DK22)
Bilgi Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K3)	Hane halkı ulaşım anketleri (K32)	Anket hazırlanması (DK23) Verilerin elde edilmesi (DK24)
	Ulaşım ağı (K41)	Yol ağı (DK25) Mevcut ulaşım sistemi (DK26)
Ulaştırma Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K4)	Yolculuk özellikleri (K42)	Amaçlarına göre yolculuk dağılımı (DK27) Yolculukların türel dağılımı (DK28)
	Hareketlilik oranı (K43)	Cinsiyete göre hareketlilik oranı (DK29)
	Yolculuk süresi özellikleri (K44)	Amaçlara göre yolculuk süreleri (DK30)
	Yolculuk üretimi ve çekimi (K45)	Amaçlarına göre üretim ve çekim (DK31)
	Yolculuk dağılımı (K46)	Amaçlarına göre yolculuk dağılımı (DK32) Araç türüne göre üretim ve çekim (DK33)
	Ulaşım talep tahmini (K51)	Ulaşım modelinin amacı (DK34)
Ulaşım Talepleri Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K5)	Yolculuk talep tahmin modeli (K52)	Yolculuk atamaları (DK35)
	Trafik analizleri (K53)	Trafik tahminleri (DK36) Trafik analiz sonuçları (DK37)
	Yolculuk talepleri (K54)	İşletme planı ve gerekli araç sayıları (DK38) Önerilen ulaşım sisteminin temel ağ yapısı (DK39)
	Hedef yılı projeksiyonları ve sorunların belirlenmesi (K55)	Hedef yılı projeksiyonları (DK40)
	Alternatiflerin oluşturulması (K56)	Alternatiflerin modelde test edilmesi (DK41) Alternatiflerin değerlendirilmesi (DK42)
	Ekonomik Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K6)	Yapım maliyetleri (K61)
Araç maliyetleri (K62)		Araçlarla ilgili maliyet (DK45)
Hattın maliyetleri (K63)		İşletme ve bakım maliyetleri (DK46) Yolculuk süresi kazançları (DK47)
Ekonomik analizin ölçülebilir yararları (K64)		Trafik güvenliğinin artması (DK48)
		Kaza maliyetlerindeki azalma (DK49)
		Mevcut ulaşım araçlarından elde edilen tasarruf (DK50)
		Yol yatırım giderlerinde ve bakım onarımındaki azalma (DK51)
Ekonomik analizin ölçülemeyen yararları (K65)		Çevresel maliyetlere azalma (DK52)
	Sosyoekonomik değerlendirme (DK53)	
Mali Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K7)	Yatırım gelirleri (K71)	Ücret yapısı ve yolcu gelirleri (DK54) İşletme gelirleri (DK55)
	Yatırım giderleri (K72)	İnşaat giderleri (DK56)
		İşletme ve bakım giderleri (DK57)
		Finansman giderleri (DK58)
	Projenin finansman ve kredi koşulları (K73)	Araçların yatırım giderleri (DK59)
		Hattın finansmanı için farklı alternatif modeller (DK60) Alternatif finansman modelleri için kullanılacak kredi miktarı, faiz oranları ve ödeme bilgileri (DK61) Kredi verebilecek kuruluşlar (DK62)
Sosyal Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K8)	Sosyal politika yönünden yapılabilirlik (K81)	İdari politikalar/prosedürler (DK63) Siyasetin etkisi (DK64)
	Kültürel yönden yapılabilirlik (K82)	Projeye katılan ülkeler/sayısı (DK65) Farklı kültürlerle sahip insanların sayısı (DK66)
	Politik çevre (K83)	Politikaların projeye etkisi (DK67)
	Sosyal faktörler (K84)	Ücret / tarifenin toplumsal açıdan değerlendirilmesi (DK68) Projenin iş fırsatı yaratması (DK69) Toplumun anlayış ve destekleyiciliği (DK70)
Teknolojik Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K9)	Mevcut teknoloji (K91)	Projede kullanılan teknolojilerin çeşitliliği (DK71) Kullanılan teknolojiler için taraflardan beklenen deneyim (DK72)
	Yeni teknoloji (K92)	İhtiyaç duyulan teknolojilerin çeşitliliği (DK73) Teknolojik değişikliklerin projeye etkisi (DK74)

değer ne kadar yüksekse fizibilite etüdünde avantaj olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Fizibilite etüdü seçimi için adımlar (The framework of feasibility study selection)

### 3.2. Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayılar (Linguistic Variables and Fuzzy Numbers)

İncelenen fizibilite etütlerinin değerlendirmesi için, teknik, organizasyon, bilgi, ulaştırma, ulaşım talepleri, ekonomik, mali, sosyal ve teknolojik kriterlere ilişkin nicel verilere ihtiyaç duyulmuştur. Alternatifleri ve kriterleri değerlendirmek için iyi, çok iyi, zayıf, çok zayıf vb. dilbilimsel veya niteliksel derecelendirmeleri kullanabilecek konusunun uzmanlarından oluşan bir karar alma komitesi oluşturulmuştur. Çizelge 2’de alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler gösterilmiştir.

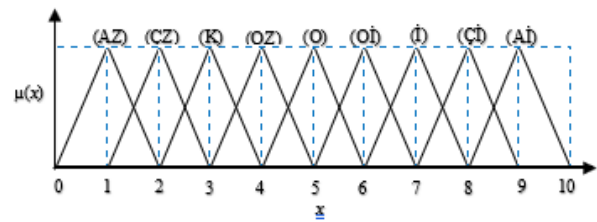
### 3.3. MCDM Tekniklerini Kullanarak Değerlendirme (Evaluation Using MCDM Techniques)

Ulaştırma projelerine ait fizibilite etütlerinin değerlendirilmesi için MCDM tekniklerinden BWM ve

TOPSIS seçilmiştir. Model için TOPSIS metodu bulanık küme teorisi ile birleştirilmiştir.

Çizelge 2. Alternatifler için dilsel değişkenler (Linguistic variables for alternatives)

Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Aşırı zayıf	AZ (0, 1, 2)
Çok zayıf	ÇZ (1, 2, 3)
Kötü	K (2, 3, 4)
Orta zayıf	OZ (3, 4, 5)
Orta	O (4, 5, 6)
Orta iyi	Oİ (5, 6, 7)
İyi	İ (6, 7, 8)
Çok iyi	Çİ (7, 8, 9)
Aşırı iyi	Aİ (8, 9, 10)



Şekil 2. Dilsel değişkenler için üyelik fonksiyonları (Membership functions for linguistic variables)

### 3.3.1 Best Worst Method (Best Worst Method)

BWM, en önemli ve en önemsiz kriteri diğer kriterlerle karşılaştırılmasına dayalı çok kriterli karar verme yöntemidir[22]. BWM; işletme, ekonomi ve mühendislik gibi alanlarında kullanılabilmektedir[23],[24],[25],[26]. BWM daha önce ulaştırma alanında proje değerlendirmede kullanılmamıştır ve bu durum çalışmanın benzersiz bir avantajıdır.

BWM’ye göre en önemli ve en önemsiz kriterler karar vericiler tarafından belirlenir. Daha sonra bu en önemli ve en önemsiz kriterlerden her biri diğer kriterlerle ikili karşılaştırma şeklinde değerlendirmeleri yapılır[22]. BWM’nin etkin özelliği, mevcut ÇKKV yöntemlerine kıyasla: ikili karşılaştırma matrislerinin daha az olması ve daha tutarlı değerlendirmeler sağlanması şeklinde sıralanmaktadır[22].

BWM, altı aşamadan oluşan bir uygulama ile kriterlerin ağırlıkları elde edilmektedir.

**Adım 1.** Karar probleminde yer alan kriterler  $c_1, c_2 \dots c_n$  belirlenir.

**Adım 2.** Karar vericiler tarafından karar probleminde yer alan en önemli ve en önemsiz kriterler tespit edilir.

**Adım 3.** En önemli kriterin diğer kriterlere göre tercihi 1 ile 9 aralığında (1: eşit önemli; 9: aşırı önemli) değişen skala yardımıyla elde edilir. En önemli kriterin diğer kriterlere göre tercihini gösteren vektör;

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

Burada,  $a_{Bj}$ , en önemli kriterin (B) j kriterine göre tercihidir.

**Adım 4.** En önemsiz kriterle diğer kriterlerin karşılaştırılması 1-9 aralığındaki değerlendirme skalasından yararlanılarak yapılır. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen vektör;

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (2)$$

Burada  $a_{jW}$ ,  $j$  kriterinin en önemsiz kriter olan  $W$ 'ye göre tercihini belirtir.

**Adım 5.** Kriterlerin optimum ağırlıkları ( $W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*$ ) bulunur[27].

$\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right|$  ve  $\left| \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right|$  farklarının maksimumunu minimum yapan model tüm  $j$ .ler için maksimumunu minimum yapan model;

$$\begin{cases} \min \max_j \left\{ \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right| \right\} \\ \text{kısıtlar} \\ \sum_j W_j = 1 \\ W_j > 0, \text{ tüm } j \text{ değerleri için} \end{cases} \quad (3)$$

Denklem doğrusal hale aşağıdaki gibi çevrilebilir:

$$\begin{cases} \min \xi \\ \left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{ tüm } j \text{ değerleri için} \\ \left| \frac{W_j}{W_W} - a_{jW} \right| \leq \xi, \text{ tüm } j \text{ değerleri için} \\ W_j > 0, \text{ tüm } j \text{ değerleri için} \\ W_j \geq 0, \text{ tüm } j \text{ değerleri için} \end{cases} \quad (4)$$

**Adım 6.** Modelin çözümü ile kriter ağırlıkları ve tutarlılık indeksi ( $\xi$ ) hesaplanır. Yöntemin son aşamasında Çizelge 3'ten yararlanılarak yapılan değerlendirilmelerin tutarlılığı test edilir[22]. Tutarlılık oranı ise Eşitlik (5)'ten yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\xi}{\text{Tutarlılık İndeksi}} \quad (5)$$

Tutarlılık oranı sıfıra yaklaştıkça yapılan değerlendirmelerin daha tutarlı olduğu sonucuna varılır.

### 3.3.2. Bulanık TOPSIS (Fuzzy TOPSIS)

TOPSIS yöntemi, ilk kez 1981 yılında önerilen MCDM tekniğidir[28]. TOPSIS, alternatifleri pozitif ideal çözüme minimum, negatif ideal çözümden maksimum mesafeye göre sıralama yapan yöntemdir[29]. TOPSIS, karar vericilerin alternatiflere tercih derecelendirmeleri vermelerini gerektirdiğinden, karar vericilerin alternatifler için kesin değerler vermeleri genellikle zordur. Bu amaçla, karar vericilerin tercih değerlendirmeleri için bulanık sayılar kullanılarak bulanık TOPSIS metodu uygulanmaktadır. Bu çalışmada Chen[29] ve Chen, Lin, ve Huang[30] tarafından önerilen bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Yöntem aşağıda adımlar halinde sıralanmıştır[30]:

**Adım 1.** Karar vericiler belirlenir.

**Adım 2.** Alternatifler belirlenir.

**Adım 3.** Alternatiflerdeki her bir kriterin değerlendirilmesi için dilsel değişkenler oluşturulur. Bu dilsel değişkenlerle bulanık üçgen sayılar Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Bulanık küme teorisinde, dilbilimsel terimleri bulanık sayılara dönüştürmek için ölçekler uygulanır[31]. Çok kriterli karar verme problemlerinde, belirsiz bir ortamda karar vericilerin değerlendirmesini içeren bir yöntem

olarak bulanık kümeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

**Çizelge 3.** Tutarlılık indeksi (CI)

$a_{BW}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tutarlılık İndeksi (max $\xi$ )	0	0,4	1	1,6	2,3	3	3,7	4,5	5,2

**Adım 4.** Alternatiflerin kriterlere göre karar vericiler tarafından dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi alınır.

**Adım 5.** Bulanık karar matrisi Eşitlik (6) ve (7) kullanılarak oluşturulur. Alternatifler ( $\tilde{D}$ ) ve kriterler ( $\tilde{W}$ ) için bulanık karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (7)$$

**Adım 6.** Elde edilen matris normalize edilir (Eşitlik 8).

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Fayda (B) ve maliyet (C) olmak üzere;

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j}, \frac{b_{ij}}{c_j}, \frac{c_{ij}}{c_j} \right), j \in B \text{ ve } c_j^* = \max_i c_{ij} \text{ if } j \in B \quad (9)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{c_j^-}{c_{ij}}, \frac{c_j^-}{b_{ij}}, \frac{c_j^-}{a_{ij}} \right), j \in C \text{ ve } c_j^- = \min_i a_{ij} \text{ if } j \in C \quad (10)$$

eşitliklerinden elde edilmektedir. Her bir ( $\tilde{r}_{ij}$ ) değeri normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır.

**Adım 7.** Ağırlıklı normalize edilmiş matris Eşitlik (11) ile elde edilir. Kriterler için ağırlıklı normalleştirilmiş matris ( $\tilde{V}$ ), değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının ( $\tilde{W}_j$ ) normalleştirilmiş karar matrisi ( $\tilde{r}_{ij}$ ) ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{W}_j \quad (12)$$

**Adım 8.** Bulanık pozitif ( $A^*$ ) ve negatif ( $A^-$ ) ideal çözümler sırasıyla Eşitlik (13) ve (14) ile elde edilir.

$$A^* = \{(max_i v_{ij}, j \in B), (min_i v_{ij}, j \in C)\}, i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij}, j \in B), (max_i v_{ij}, j \in C)\}, i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Fayda temelli kriterin (B) en büyük, maliyet temelli kriterin (C) ise en küçük değeri pozitif ideal değerdir. Diğer taraftan fayda temelli kriterin en küçük, maliyet temelli kriterin ise en büyük değeri negatif değerdir.  $A^*$ , en fazla tercih edilen alternatifini ifade ederken,  $A^-$  ise en az tercih edilen alternatiftir.

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (15)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (16)$$

**Adım 9.** ( $d_i^*$ ) ve ( $d_i^-$ ) aşağıdaki eşitliklerle bulunur.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

Burada  $d(\dots)$ ,  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$  ve  $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$  iki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir ve şu şekilde hesaplanır:

$$d(\bar{a}, \bar{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (19)$$

**Adım 10.** Her alternatifin yakınlık katsayısını Eşitlik (20) ile hesaplanır. Ardından, 0 ile 1 arasındaki yakınlık katsayılarına göre alternatifleri sıralanır ve son olarak yakınlık katsayısı 1'e yakın olan alternatif seçilir.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

#### 4. UYGULAMA (CASE STUDY)

Bu bölümde Türkiye'de ulaştırma yatırımlarının fizibilite etüdü değerlendirme aşamasında önerilen projelerin seçilmesi için önerilen üç aşamalı metodolojinin uygulanması açıklanmıştır. Metodoloji, fizibilite etüdü seçiminde en iyi projeyi seçmek için bir model sunmada etkili olmuştur. Önerilen modelin günümüzde uygulanması geçerliliğini kanıtlamaya yardımcı olmuştur.

##### 4.1 Karar Vericilerin ve Alternatiflerin Belirlenmesi (Determining Decision Makers and Alternatives)

Türkiye'de ulaştırma yatırımlarının fizibilite etüdü değerlendirme aşamasında önerilen projelerin seçilmesi için beş proje alternatif olarak belirlenmiştir. En iyi alternatifi seçmek için dört karar vericiden oluşan bir akademik kurul oluşturulmuştur.

##### 4.2 Kriterlerin Belirlenmesi (Determining Criteria)

Kapsamlı bir literatür incelemesinden sonra dokuz ana özellik kategorisine ayrılan toplam otuz altı değerlendirme kriteri belirlenmiştir.

##### 4.3 BWM ile Kriterlerin Ağırlıkların Belirlenmesi (Determining weights of criteria with BWM)

Fizibilite etüdü değerlendirme kriterleri belirlendikten sonra, ana kriterlerin ağırlıkları, bu makalenin 3.3.1 bölümünde gösterilen adımlar kullanılarak hesaplanmıştır. Karar vericilerden ana kriterleri 1-9 arasında derecelendirmeleri istenmiştir. Çizelge 4'te Karar Verici 1'in değerlendirilmesi verilmiştir. Karar vericilerin ana kriterlere ait değerlendirmeleri alındıktan sonra Eşitlik (3) ve (4)'ten yararlanılarak MS Excel çözücü eklentisi ile ana kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Ana kriter ağırlıkları Çizelge 5'te gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

##### Çizelge 4. Karar verici 1'in değerlendirmesi (Evaluation of the decision maker 1)

Karar Verici 1'in Değerlendirmeleri										
En önemli kriter: K5	En önemsiz: K2									
En önemli kriterin diğer kriterlere göre										
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	
K5	6	9	7	2	1	4	3	8	5	
Diğer kriterlerin en az önemli kritere göre										
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	
K2	7	1	8	3	2	5	4	9	6	

Yukarıdakine benzer şekilde, alt kriterlere ait değerlendirmeler alınarak, alt kriterlerin ağırlıkları da hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar ve birleştirilmiş ağırlıklar Çizelge 6'da verilmiştir.

**Çizelge 5. Ana kriter ağırlıkları (Main criterion weights)**

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları
Teknik Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K1)	0,0909
Organizasyon Yönünden Yapılabilirlik Faktörleri (K2)	0,0416
Bilgi Yönünden Yapılabilirlik Faktörleri (K3)	0,0791
Ulaştırma Yönünden Yapılabilirlik Faktörleri (K4)	0,1738
Ulaşım Talepleri Yönünden Yapılabilirlik (K5)	0,1366
Ekonomik Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K6)	0,011
Mali Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K7)	0,1955
Sosyal Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K8)	0,1775
Teknolojik Yönden Yapılabilirlik Faktörleri (K9)	0,0568

**Çizelge 6. Ana kriter ağırlıkları, alt kriter ağırlıkları ve birleştirilmiş ağırlıklar (Main criterion weights, sub criterion weights and combined weights)**

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları	Birleştirilmiş Ağırlıklar
K1	0,0909	K11	0,1776	0,0162
		K12	0,2421	0,0220
		K13	0,0702	0,0064
		K14	0,2032	0,0185
		K15	0,1007	0,0092
		K16	0,2063	0,0188
K2	0,0416	K21	0,1859	0,0077
		K22	0,8141	0,0339
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
K8	0,1075	K81	0,3584	0,0385
		K82	0,2140	0,0230
		K83	0,0851	0,0091
		K84	0,3426	0,0368
K9	0,0568	K91	0,6140	0,0349
		K92	0,3860	0,0219

Eşitlik (5)'ten yararlanılarak yapılan tüm değerlendirmelerin tutarlılık oranları belirlenerek Çizelge 7'de verilmiştir. Tabloda ortalama tutarlılık oranları incelendiğinde karar vericilerin karşılaştırmalarının tutarlı olduğunu söylemek mümkündür.

**Çizelge 7. Ana kriterlere ve alt kriterlere ait tutarlılık oranları (Consistency rates for main criteria and sub criteria)**

		Karar Vericiler			
		KV1	KV2	KV3	KV4
Ana Kriterler	K1-K9	0,1867	0,1376	0,1389	0,2249
Alt Kriterler	K11-K16	0,2177	0,1203	0,1370	0,3013
	K21-K22	0,3333	0,0769	0,0000	0,0588
	K31-K33	0,5000	2,0000	0,0000	0,1250
	K41-K46	0,2017	0,1770	0,1374	0,3089
	K51-K56	0,2235	0,1194	0,1359	0,3074
	K61-K65	0,2444	0,1190	0,0573	0,3384
	K71-K73	0,3333	0,2667	0,2222	0,3426
	K81-K84	0,2000	0,1726	0,3345	0,1995
	K91-K92	0,1429	0,0667	0,0000	0,1250

#### 4.4. Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Problem Çözümü (Solving problem with Fuzzy TOPSIS method)

BWM ile kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra, bulanık TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sürecine ilişkin ilgili adımlar sıralanmıştır.

**Adım 1.** Çalışmada dört karar verici belirlenmiştir. Ulaştırma alanında akademisyenlerden karar vericiler seçilmiştir.

**Adım 2.** Değerlendirilmesi için beş alternatif belirlenmiştir (Çizelge 8).



**Çizelge 8.** Belirlenen alternatifler (Defined alternatives)

Alternatifler	Projenin Adı	Etüdün Hazırlandığı Yıl
A1	Mahmutbey-Bahçeşehir- Esenyurt Raylı Sistem Hattı Ekonomik ve Mali Fizibilite Etüdü	2016
A2	Eskişehir-Afyon-Burdur-Antalya Hızlı Tren Projesi Fizibilite Etüdü	2019
A3	Ümraniye-Ataşehir-Göztepe Metro Hattı Ekonomik ve Finansal Fizibilite Etüdü	2015
A4	Tuzla Havaray Hattı, Ulaşım Etüdü & Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü	2016
A5	Bakırköy-Beylikdüzü Metrosu, Sefaköy-Tüyap Uzatma Hattı, Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü	2016

*Adım 3.* Karar vericiler tarafından alternatifler, Çizelge 2’de verilen ölçekle değerlendirilmiştir.

*Adım 4.* Alternatiflerin kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi alınmıştır.

*Adım 5.* Bulanık karar matrisi Eşitlik (6) ve (7) kullanılarak oluşturulmuştur (Çizelge 9).

*Adım 6.* Eşitli (9) ve (10) ile matris normalize edilmiştir (Çizelge 10).

*Adım 7.* Ağırlıklı normalize matrisi elde edilmiştir (Çizelge11).

*Adım 8.* Alternatiflerin  $A^*$  ve  $A^-$  değerleri sırasıyla Eşitlik (13) ve (14) kullanılarak hesaplanmıştır.

*Adım 9.* ( $d_i^*$ ) ve ( $d_i^-$ ) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 12).

*Adım 10.* Her alternatifin yakınlık katsayısı Eşitlik (20) ile hesaplanmıştır. Ardından, 0 ile 1 arasındaki yakınlık

**Çizelge 9.** Bulanık karar matrisi (Fuzzy decision matrix)

Karar Kriteri	A1			A2			A3			A4			A5		
DK1	3,5	4,5	5,5	4,75	5,75	6,75	4,5	5,5	6,5	5	6	7	4,5	5,5	6,5
DK2	3,5	4,5	5,5	5	6	7	4,75	5,75	6,75	4,5	5,5	6,5	4,75	5,75	6,75
DK3	4,25	5,25	6,25	4,75	5,75	6,75	4,5	5,5	6,5	4,5	5,5	6,5	4,5	5,5	6,5
DK4	4,75	5,75	6,75	4,75	5,75	6,75	4,75	5,75	6,75	4,25	5,25	6,25	5	6	7
DK5	4,5	5,5	6,5	4,5	5,5	6,5	4,75	5,75	6,75	3,75	4,75	5,75	5	6	7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
DK70	1,5	2,5	3,5	3,25	4,25	5,25	1,75	2,75	3,75	1,75	2,75	3,75	1,5	2,5	3,5
DK71	1,75	2,75	3,75	3,25	4,25	5,25	1,5	2,5	3,5	1,75	2,75	3,75	1,75	2,75	3,75
DK72	1,5	2,5	3,5	3	4	5	2	3	4	1,75	2,75	3,75	1,5	2,5	3,5
DK73	1,5	2,5	3,5	3	4	5	1,5	2,5	3,5	1,5	2,5	3,5	1,5	2,5	3,5
DK74	1,5	2,5	3,5	3,75	4,75	5,75	1,75	2,75	3,75	2,25	3,25	4,25	1,75	2,75	3,75

**Çizelge 10.** Bulanık normalize edilmiş matrisi (Fuzzy normalized matrix)

Karar Kriteri	A1			A2			A3			A4			A5		
DK1	0,5	0,64	0,79	0,68	0,82	0,96	0,64	0,79	0,93	0,71	0,86	1	0,64	0,79	0,93
DK2	0,5	0,64	0,79	0,71	0,86	1	0,68	0,82	0,96	0,64	0,79	0,93	0,68	0,82	0,96
DK3	0,63	0,78	0,93	0,7	0,85	1	0,67	0,81	0,96	0,67	0,81	0,96	0,67	0,81	0,96
DK4	0,68	0,82	0,96	0,68	0,82	0,96	0,68	0,82	0,96	0,61	0,75	0,89	0,71	0,86	1
DK5	0,64	0,79	0,93	0,64	0,79	0,93	0,68	0,82	0,96	0,54	0,68	0,82	0,71	0,86	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
DK70	0,29	0,48	0,67	0,62	0,81	1	0,33	0,52	0,71	0,33	0,52	0,71	0,29	0,48	0,67
DK71	0,33	0,52	0,71	0,62	0,81	1	0,29	0,48	0,67	0,33	0,52	0,71	0,33	0,52	0,71
DK72	0,3	0,5	0,7	0,6	0,8	1	0,4	0,6	0,8	0,35	0,55	0,75	0,3	0,5	0,7
DK73	0,3	0,5	0,7	0,6	0,8	1	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
DK74	0,26	0,43	0,61	0,65	0,83	1	0,3	0,48	0,65	0,39	0,57	0,74	0,3	0,48	0,65

**Çizelge 11.** Ağırlıklı normalize edilmiş matrisi (Weighted normalized matrix)

Karar Kriteri	A1			A2			A3			A4			A5		
DK1	0,004	0,005	0,006	0,005	0,007	0,018	0,005	0,006	0,007	0,006	0,007	0,008	0,005	0,006	0,007
DK2	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007	0,008	0,005	0,007	0,008	0,005	0,006	0,007	0,005	0,007	0,008
DK3	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007
DK4	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,004	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007
DK5	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007	0,004	0,005	0,006	0,005	0,006	0,007
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
DK70	0,004	0,006	0,008	0,008	0,01	0,012	0,004	0,006	0,009	0,004	0,006	0,009	0,004	0,006	0,008
DK71	0,006	0,009	0,012	0,011	0,014	0,017	0,005	0,008	0,012	0,006	0,009	0,012	0,006	0,009	0,012
DK72	0,005	0,009	0,012	0,01	0,014	0,017	0,007	0,01	0,014	0,006	0,01	0,013	0,005	0,009	0,012
DK73	0,003	0,005	0,008	0,007	0,009	0,011	0,003	0,005	0,008	0,003	0,005	0,008	0,003	0,005	0,008
DK74	0,003	0,005	0,007	0,007	0,009	0,011	0,003	0,005	0,007	0,004	0,006	0,008	0,003	0,005	0,007

katsayılarına göre alternatifleri sıralanmıştır ve son olarak yakınlık katsayısı 1'e yakın olan alternatif seçilmiştir (Çizelge 12).

**Çizelge 12.**  $d_i^*$  ve  $d_i^-$  değerleri ve yakınlık katsayıları ( $d_i^*$  and  $d_i^-$  values and closeness coefficients)

Tercih Edilme Sırası		$d^*$	$d^-$	$C^*$
1	Alternatif 2	0,27898	0,29907	0,51738
2	Alternatif 5	0,30042	0,27551	0,47838
3	Alternatif 1	0,31197	0,26363	0,45801
4	Alternatif 3	0,32563	0,24908	0,4334
5	Alternatif 4	0,33433	0,24159	0,41948

Çizelge 12 incelendiğinde alternatifler A2> A5> A1> A3> A4 şeklinde sıralanmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Günümüz ekonomi şartlarında ulaştırma yatırımları ayrıntılı bir şekilde ele alınmalı ve gerekli incelemelerden sonra yatırım kararı alınmalıdır. Buradan hareketle detaylı araştırmaların yapılması amacıyla hazırlanan fizibilite etütleri ulaştırma projelerinde yer alması gereken bilgiler, kullanılması gereken teknikler ve elde edilen sonuçlardan oluşmaktadır. Fizibilite etütleri yapılacak projelerin değerlendirilmesinde yatırımcıya karar verme yaklaşımı sağlar.

Bu çalışmada ulaştırma projelerinde yatırım kararı alınmadan önce hazırlanan fizibilite etütlerinin değerlendirilmesi için birbirleriyle çelişkili birçok nicel ve nitel kriter dikkate alınarak; teknik, ekonomik, mali, olmak üzere birçok yönden belirlenen kriterlerle bulanık TOPSIS ile değerlendirme sürecinin daha objektif bir şekilde oluşması amaçlanmıştır.

Fizibilite etütlerinde değerlendirme kriterleri olarak; teknik, organizasyon, bilgi, ulaştırma, ulaşım talepleri, ekonomik, mali, sosyal ve teknolojik olmak üzere dokuz ana kriterin yatırımın başarısına katkısı belirlenmiştir. Bu kriterler içinde ekonomik, teknoloji ve ulaştırma yönünden belirlenen kriterlerin daha önemli olduğu görülmüştür. Son zamanlarda yapılan çalışmalar da sadece finansal yönden değerlendirilmeler yapıldığını ve proje için ayrılan bütçenin tahmin edildiği şekilde kullanılmadığını göstermektedir. Bu amaçla günümüzde kullanılan değerlendirme yaklaşımı; hedeflerin aynı doğrultuda ve öngörülen yılları göz önüne alan, proje hedeflerini gerçekleştirebilen ve belirlenen amaçları içeren projelere öncelik verilmesidir.

Çalışmada fizibilite etüdü seçim sürecinde bulanık TOPSIS yöntemini uygulanmıştır. Bir fizibilite etüdüde olması gereken kriterler, dört karar vericiden alınan değerlendirmelerle önem dereceleri belirlenmiştir. Alternatifler bulanık TOPSIS yöntemindeki aşamalar izlenerek tamamen karar vericilerin görüşüyle belirlenerek, istenen özellikleri ve koşulları yerine getiren değerlendirmeler sonucu projelerin tercih edilme sıralamaları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Eskişehir-Afyon-Burdur-Antalya Hızlı

Tren Projesi Fizibilite Etüdü (Alternatif 2) en iyi alternatif olarak bulunmuştur. Sosyoekonomik değerlendirme (DK53), Sosyoekonomik durumu (DK12), Yol ağı (DK25), Mevcut ulaştırma sistemi (DK26), Tarihi ve doğal miras programı alanları (DK14), Trafik tahminleri (DK36), Proje amacının netliği (DK2) ve Hedeflerin sayısı/çeşitliliği (DK3) kriterlerinden yüksek değerlendirme almıştır. Tuzla Havaray Hattı, Ulaşım Etüdü & Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü (Alternatif 4) ise tercih sırası bakımından sonuncu olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde Alternatif 4'e ait kriter değerlendirmelerinde; Tarihi ve doğal miras programı alanları (DK36), Cinsiyete göre hareketlilik oranı (DK29), Projede görev alan personel sayısı (DK18) ve Sosyal tesisler (DK15) kriterlerinden düşük değerlendirme almıştır.

Bu çalışma, ileride değerlendirme sürecinde, karar verici sayısı artırılarak grup karar verme sürecine dönüştürülebilir. Ayrıca karar kriter sayısı, kriter ağırlıkları ve alternatif sayısı artırılarak oluşacak değişimlerin duyarlılık analizi yapılarak sonuçları nasıl etkilediği gözlemlenebilir. Ayrıca bu model bilgisayar ortamında geliştirilen bir program olarak kullanılabilir. Bu sayede kriterler üzerinde değişiklikler yapıldığında projeye ait sonuçların değişimi ve projenin başarıma etkisinin incelenmesi, hızlı ve şeffaf bir sistemde gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Özlem BATTAL ŞAL:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**M. Kürşat ÇUBUK:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**Özlem BATTAL ŞAL:** Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Altınok, "Türkiye'de Ulaştırma Politikaları, Karayolları ve Demiryollarının Mukayesesi," *SÜ İİBF Sos. ve Ekon. Araştırmalar Derg.*, 1: 72-87, (2001).
- [2] V. Özkir and T. Demirel, "A fuzzy assessment framework to select among transportation investment projects in Turkey," *Expert Syst. Appl.*, 39(1):74-80, (2012).
- [3] J. Berechman, "The evaluation of transportation investment projects", *Routledge*, (2014).

- [4] A. Guleria and R. K. Bajaj, "A robust decision making approach for hydrogen power plant site selection utilizing (R, S)-Norm Pythagorean Fuzzy information measures based on VIKOR and TOPSIS method," *Int. J. Hydrogen Energy*, 45(38):18802–18816, (2020).
- [5] L. Dimova, P. Sevastianov, and D. Sevastianov, "MCDM in a fuzzy setting: Investment projects assessment application," *Int. J. Prod. Econ.*, 100(1):10–29, (2006).
- [6] Steuer, R.E., Na, P., "Multiple criteria decision making combined with finance. A categorical bibliographic study.," *Eur. J. Oper. Res.*, 150: 496–515, (2003).
- [7] Wang, W.-C., "Supporting project cost threshold decisions via a mathematical cost model.," *Int. J. Proj. Manag.*, 22: 99–108, (2004).
- [8] A. K. Mohamed, S., McCowan, "Modelling project investment decisions under uncertainty using possibility theory.," *Int. J. Proj. Manag.*, 19: 231–241, (2001).
- [9] H. D. Li, Q., Sterali, "An approach for analyzing foreign direct investment projects with application to China's Tumen River Area development.," *Comput. Oper. Res.*, 3:1467–1485, (2003).
- [10] T. Gercek, H., Karpak, B., & Kilincaslou, "A Multiple Criteria Approach for the Evaluation of the Rail Transit Networks in Istanbul," *Transportation*, 31(2):203–228, (2004).
- [11] J. Zak, "Multiple-Criteria Decision Aiding Methodology in Road Transportation," *Pozn. Pozn. Univ. Technol.*, (2005).
- [12] M. Kruszynski, "Multiple-Criteria Decision Aiding Methodology in Urban Transportation Management," *Pozn. Pozn. Univ. Technol.*, (2014).
- [13] N. Caliskan, "A Decision Support Approach for the Evaluation of Transport Investment Alternatives," *Eur. J. Oper. Res.*, 175(3): 1696–1704, (2006).
- [14] R. Cascajo, "Assessment of economic, social and environmental effects of rail urban projects.," *Yung Res.*, (2005).
- [15] H. Hayashi, H., & Morisugi, "International Comparison of Background Concept & Methodology of transportation Project Appraisal.," *Transp. Policy*, 7(1):73–88, (2000).
- [16] H. Morisugi, "Evaluation methodologies of transportation projects in Japan.," *Transp. Policy*, 7:35–40, (2000).
- [17] M. D. Cheslow, "Issues in the evaluation of metropolitan transportation alternatives, in: Transportation systems analysis and planning 1980," *Transp. Res. Rec.*, 751:1–8, (1980).
- [18] M. Shelton, J., Medina, "Integrated multiple-criteria decision-making method to prioritize transportation projects.," *Transp. Res. Rec.* 2174:51–57, (2010).
- [19] Y. Shang, J.S., Tjader, Y., Ding, "A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects.," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, 51(3):300–313, (2004).
- [20] S. Topcu, Y., Onar, "A multi-criteria decision model for urban mass transit systems.," *41st Int. Conf. Comput. Ind. Eng.*, (2011).
- [21] A. Awasthi, H. Omrani, and P. Gerber, "Investigating ideal-solution based multicriteria decision making techniques for sustainability evaluation of urban mobility projects," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, 116: 247–259, (2018).
- [22] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method," *Omega (United Kingdom)*, 53:49–57, (2015).
- [23] L. A. Ahmad, W. N. K. W., Rezaei, J., Sadaghiani, S., & Tavasszy, "Evaluation of the external forces affecting the sustainability of oil and gas supply chain using Best Worst Method," *J. Clean. Prod.*, 153:242–252, (2017).
- [24] J. Ahmadi, H. B., Kusi-Sarpong, S., & Rezaei, "Assessing the social sustainability of supply chains using Best Worst Method," *Resour. Conserv. Recycl.*, 126:99–106, (2017).
- [25] J. Van de Kaa, G., Kamp, L., & Rezaei, "Selection of biomass thermochemical conversion technology in the Netherlands: A Best Worst Method approach," *J. Clean. Prod.*, 166:32–39, (2017).
- [26] R. Mahmoudi, S. N. Shetab-Boushehri, S. R. Hejazi, and A. Emrouznejad, "Determining the relative importance of sustainability evaluation criteria of urban transportation network," *Sustain. Cities Soc.*, 47:101493, (2019).
- [27] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model," *Omega (United Kingdom)*, 64:126–130, (2016).
- [28] K. Hwang, C.L., Yoon, "Multiple Attributes Decision Making Methods Applications. Springer, Berlin Heidelberg," *Int. Energy Agency*, (1981).
- [29] C. T. Chen, "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment," *Fuzzy Sets Syst*, 114 (1):1–9, (2000).
- [30] M. DEVECİ and S. YAVUZ, "Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR Yöntemleriyle Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi ve Bir Uygulama," *Ege Akad. Bakis*, 14(3):463–463, (2014).
- [31] M. Deveci, N. Ç. Demirel, R. John, and E. Özcan, "Fuzzy multi-criteria decision making for carbon dioxide geological storage in Turkey," *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, 27:692–705, (2015).
- [32] N. Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S. H., Ghasempourabadi, M. H., & Badri, "Project Portfolio Selection Using VIKOR Technique under Fuzzy Environment.," *2nd Int. Conf. Constr. Proj. Manag. IPEDR*, 15:236–240, (2011).