



Yüksek Hızlı Demiryolu İşletim Emniyetini Etkileyen Kriterlerin Bulanık AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi

Kısmet CİNGÖZ

Tarsus Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Mersin, Türkiye

kismetcingoz@tarsus.edu.tr

(Alınış/Received: 14.12.2025, Kabul/Accepted: 21.01.2026, Yayımlama/Published: 21.01.2026)

Öz: Son yıllarda artan nüfus, kentleşme ve ulaşım talebi doğrultusunda yüksek hızlı demiryolu sistemleri, sürdürülebilir, güvenli, hızlı ve yüksek kapasiteli bir ulaşım modu olarak dünya genelinde hızla yaygınlaşmaktadır. Ayrıca diğer ulaşım türleri ile karşılaştırıldığında, yüksek hızlı trenlerin enerji tasarrufu, çevre dostu olma, güvenlik ve yolcular için kolaylık sağlaması gibi avantajlara sahip olması tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Bu sebeplerle yüksek hızlı demiryollarının işletim emniyeti oldukça önemli olmaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmanın amacı, yüksek hızlı demiryolu işletiminin emniyetini etkileyen kriterleri belirlemek ve bu kriterlerin göreceli önem derecelerini Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanarak değerlendirmektir. Çalışma kapsamında, literatür incelemesi ve uzman görüşleri doğrultusunda yüksek hızlı demiryolu işletim emniyetini etkileyen 3 ana ve 12 alt kriterler tanımlanmış; ardından 3 uzmanın görüşleri alınarak Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile bu kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en önemli ana kriter ekipman ana kriteridir ve en önemli alt kriter personelin mesleki yeterliliği alt kriteridir.

Anahtar kelimeler: Yüksek hızlı demiryolu, Emniyet, Bulanık analitik hiyerarşi yöntemi

Evaluation of the Criteria Affecting High-Speed Railway Operation Safety Using the Fuzzy AHP Method

Abstract: In line with the increasing population, urbanization, and transportation demand in recent years, high-speed rail systems have been rapidly expanding worldwide as a sustainable, safe, speedy and high-capacity mode of transportation. Moreover, compared to other transportation modes, high-speed trains offer advantages such as energy efficiency, environmental friendliness, safety, and convenience for passengers, which further increases their attractiveness. For these reasons, the operation safety of high-speed railways is of great importance. Accordingly, the aim of this study is to identify the criteria affecting the safety of high-speed rail operations and to evaluate the relative importance of these criteria using the Fuzzy Analytical Hierarchy Method. Within the scope of the study, based on a literature review and expert opinions, three main criteria and twelve sub-criteria affecting high-speed rail operational safety were identified; subsequently, the weights of these criteria were calculated using the Fuzzy Analytical Hierarchy Method based on the evaluations of three experts. According to the results obtained, the most important main criterion is equipment, and the most important sub-criterion is the professional competence of personnel.

Keywords: High-speed railway, Safety, Fuzzy analytical hierarchy method

1. Giriş

Son yıllarda artan nüfus, kentleşme ve ulaşım talebi doğrultusunda yüksek hızlı demiryolu sistemleri, sürdürülebilir, güvenli ve yüksek kapasiteli bir ulaşım modu olarak dünya genelinde hızla yaygınlaşmaktadır. Karayolu ve havayolu taşımacılığına kıyasla daha düşük çevresel etki, yüksek enerji verimliliği ve zaman tasarrufu sağlaması, yüksek hızlı demiryolu sistemlerini modern ulaşım politikalarının temel bileşenlerinden biri hâline getirmiştir. Bununla birlikte,

Atıf için/Cite as: K. Cingöz, "Yüksek hızlı demiryolu işletim emniyetini etkileyen kriterlerin bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilmesi," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 23, no. 1842278, 2026, doi: 10.47072/demiryolu.1842278

işletme hızlarının yüksek olması, sistemlerin karmaşık teknik yapılara sahip bulunması ve çok sayıda paydaşın sürece dâhil olması, yüksek hızlı demiryolu işletiminde emniyet konusunu kritik ve çok boyutlu bir problem alanı hâline getirmektedir.

Yüksek hızlı demiryolu işletim emniyeti; insan faktörleri, altyapı ve üstyapı unsurları, sinyalizasyon ve haberleşme sistemleri, araç-teknoloji bileşenleri, çevresel koşullar ve yönetsel uygulamalar gibi birbirleriyle etkileşim hâlinde olan çok sayıda kriterden etkilenmektedir. Bu kriterlerin her biri, işletme emniyeti üzerinde farklı düzeylerde etkiye sahip olup, aralarındaki belirsizlikler ve öznel değerlendirmeler emniyetin nicel olarak analiz edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, yüksek hızlı demiryolu emniyetini etkileyen kriterlerin sistematik, tutarlı ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Geleneksel çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, karmaşık sistemlerde kriterlerin görelî önemlerini belirlemede yaygın olarak kullanılmakla birlikte, uzman yargılarındaki belirsizlikleri ve bulanıklıkları yeterince yansıtmakta sınırlı kalabilmektedir. Bu noktada, Analitik Hiyerarşi Süreci'nin (AHP) bulanık küme teorisi ile bütünleştirilmesiyle geliştirilen Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) yöntemi, karar vericilerin sözel ve belirsiz değerlendirmelerini daha gerçekçi bir şekilde modelleyebilme avantajı sunmaktadır. Bulanık AHP yöntemi, kriterler arasındaki görelî önemlerin üçgensel bulanık sayılar aracılığıyla ifade edilmesine olanak tanıyarak, insan algısındaki belirsizliği karar sürecine dâhil etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yüksek hızlı demiryolu işletiminin emniyetini etkileyen kriterleri belirlemek ve bu kriterlerin görelî önem derecelerini Bulanık AHP yöntemi kullanarak değerlendirmektir. Yapılan literatür araştırmasına göre ülkemizde yüksek hızlı demiryolu işletiminin emniyetini etkileyen kriterlerin belirlenmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple bu çalışmanın literatürdeki bu boşluğu dolduracağı düşünülmektedir. Bu durum çalışmanın özgün yanını ve önemini ortaya koymaktadır.

Bu doğrultuda çalışma kapsamında, literatür incelemesi ve uzman görüşleri doğrultusunda yüksek hızlı demiryolu işletim emniyetini etkileyen ana ve alt kriterler tanımlanmış; ardından 3 uzmanın görüşleri alınarak Bulanık AHP yöntemi ile bu kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen bulguların, yüksek hızlı demiryolu işletmecileri, politika yapıcılar ve altyapı yöneticileri için emniyet odaklı karar alma süreçlerine katkı sağlaması ve kaynakların etkin kullanımına yönelik yol gösterici nitelikte olması beklenmektedir.

2. Literatür Araştırması

Yüksek hızlı tren (HSR), entegre hareketli vagon ve özel ray sistemi kullanarak geleneksel demiryolu trafiğinden esasen daha hızlı çalışan bir tür demiryolu ulaşım altyapısıdır [1]. 70 ülkeden 196 kuruluşun üyesi olduğu Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC), yüksek hızlı demiryolunun 250 km/saat hıza sahip, yüksek hızlarda konforlu, güvenliği sağlayacak altyapısı, sinyalizasyon sistemi ve tren setleri olan hatlar olarak tanımlamaktadır. UIC'e ek olarak Avrupa Demiryolları Birliği (CER) ile Avrupa Birliği 96/48/EC Sayılı yönergesinde yüksek hızlı demiryollarının tanımı için genel olarak "250 km/saat üstü" ölçüsü referans alınmaktadır [2].

Dünyada ilk yüksek hızlı demiryolu uygulaması 1964 yılında Japonya'da başlatılmıştır. Tokyo-Osaka arasında 515 km hat uzunluğuna sahip, Shinkansen Hattı olarak adlandırılan ve ticari hızı 210 km/saat [3 olan hattın 2023 yılına gelindiğinde ise 3147 km'ye ulaştığı görülmüştür. Dünya genelinde ise yüksek hızlı demiryolu uygulamaları Japonya ile sınırlı kalmayıp Çin, İspanya, Fransa, Almanya ve Türkiye ve diğer ülkelerde de önemli ulaşım ve taşıma türlerinden biri haline gelmiştir. Tablo 1'de yüksek hızlı demiryoluna sahip ülkeler olan (ilk 10 ülke) ve yüksek hızlı demiryolunun uzunluğu (km) gösterilmiştir [4]¹.

Tablo 1. Ülkelere göre yüksek hızlı demiryolu uzunlukları [4]¹

Ülke	Rota-Km
Çin	45390
İspanya	3993
Japonya	3147
Fransa	2760
Almanya	1631
Türkiye	1209
Finlandiya	1120
İtalya	921
İsveç	895
Güney Kore	874

¹ Çalışmada Kayseri Kuzey Geçişi yüksek hızlı demiryolu hattı olarak değerlendirilmiştir. Ancak hat şehir trafiğini azaltmak için inşa edilmiş çift hatlı konvansiyonel demiryolu bağlantısıdır. Trenlerin yüksek hız ile işletildiği bir hat değildir. Bu sebeple orijinal tablo değerinden Kayseri Kuzey Geçişi hattının uzunluğu çıkarılmıştır.

Tablo 1 incelendiğinde yüksek hızlı demiryolu kullanımı Japonya ile başlamış olsa da şu an en yüksek hızlı demiryolu ağına sahip ülke Çin'dir. Çin'i sırasıyla İspanya, Japonya, Fransa, Almanya ve Türkiye takip etmektedir. Bu dağılıma bakıldığında yüksek hızlı demiryolunun Asya ve Avrupa'da gelişim gösterdiği görülmektedir.

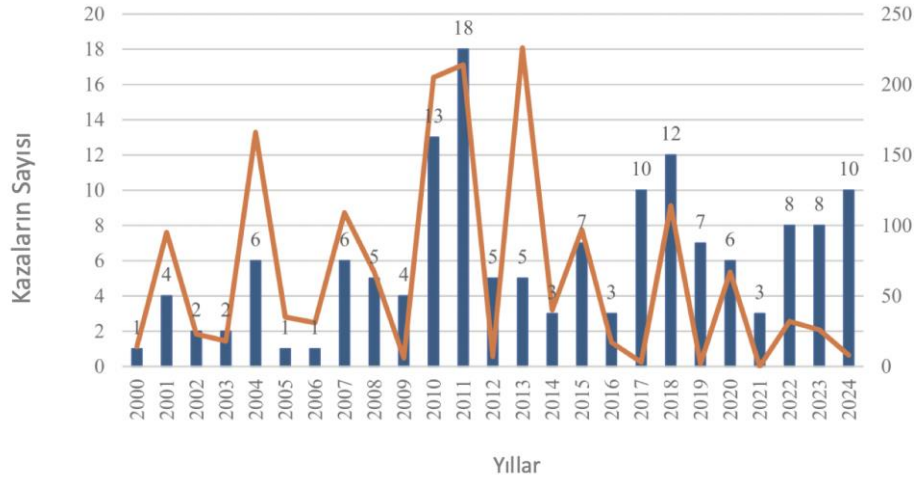
Türkiye'de ise 6 tane yüksek hızlı demiryolu hattı bulunmaktadır. Hatlar ile ilgili bilgiler Tablo 2'de gösterildiği gibidir [5].

Tablo 2. Türkiye'deki yüksek hızlı demiryolu hatlar ve ilgili bilgiler [5]

Hatlar	Maksimum Hız (km/saat)	Yıl	Mesafe (km)
Ankara-Eskişehir	250	2009	245
Ankara (Polatlı) - Konya	250	2011	212
Eskişehir - İzmit - İstanbul (Pendik)	250	2014	257
Kırıkkale (Balışeyh) - Sivas	300	2021	315
Konya - Karaman	200	2022	102
Ankara (Kayaş) - Kırıkkale (Balışeyh)	300	2023	78

Türkiye'de yüksek hızlı tren hatları 2009 yılında işletmeye başlatılmıştır. Ankara-Eskişehir hattının açılması Türkiye'nin yüksek hızlı demiryolu alanındaki ilk adımıdır. Sonrasında ise 2011 yılında 212 kilometre uzunluğunda ve maksimum hızı 250 km'ye çıkabilecek şekilde Ankara-Konya hattı açılmıştır. Ankara – Sivas hattının ilk adımı olan Kırıkkale- Sivas hattı 2021 yılında tamamlandığında 315 km uzunluğunda idi. Ancak 2023 yılında hat Ankara – Kırıkkale hattı ile uzatılarak Ankara – Sivas hattı tamamlanmış olup hattın toplam uzunluğu 393 kilometredir.

Dünya'da ve Türkiye'de yolcu taşımacılığında yaygın olarak kullanılan yüksek hızlı demiryolu, kısa seyahat süreleri, konforu, güvenilirliği ve düşük enerji tüketimi ile yolcular için çekici hale gelmektedir. Ancak bazen yüksek hızlı trenler sistematik karmaşıklık ve belirsizlik nedeniyle işletim sırasında kazalar yaşamaktadırlar [6]. Şekil 1'de yıllara göre dünya genelinde gerçekleşen yüksek hızlı tren kaza sayıları gösterilmektedir [7].



Şekil 1. Yıllara göre yüksek hızlı tren kazaları sayıları ve kayıpların sayılar (2000-2024) [7]

Şekil 1’de 2000 ile 2024 yılları arasındaki yıllık yüksek hızlı tren kazaları ve can kayıpları gösterilmiştir. Kaza sayıları barlar ile gösterilirken, can kaybı sayıları çubuk grafik ile gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, 2000 ile 2024 yılı arasında her yıl yüksek hızlı tren kazası meydana geldiği ve en çok kazanın 2011 yılında meydana geldiği görülmektedir. 2017, 2019 ve 2021 yıllarında meydana gelen kazalarda can kaybı yaşanmazken, en yüksek can kaybı 2013 yılında meydana gelen kazalarda yaşanmıştır. Wan-Lin vd., [7] çalışmalarında kazaları 4 gruba ayırmışlardır. Bunlar: sıradan kaza, büyük kaza, önemli kaza ve son derece yıkıcı kazadır. Sıradan kazalar toplam kazaların %67,33’ünü oluşturarak en yüksek sıklığa sahipken, toplam can kaybı açısından en az ciddi olan kazalardır. Ayrıca, büyük ve daha ağır kazaların sıklığı nispeten düşük olsa da toplam can kaybı açısından ciddi kayıplara neden olmuşlardır. Özellikle, son derece yıkıcı kazaların ortalama can kaybı sayısı, yaklaşık 95 ile diğer üç kaza seviyesine göre çok daha yüksektir [7]. Kazaların nedenleri ise ekipman faktörü, insan faktörü ve çevresel faktörler olmak üzere 3 faktöre ayrılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ekipman faktörü kazaların sebebinin %41,61’ini oluşturmaktadır ve bu da yüksek hızlı tren kazalarına neden olan ana faktördür. İnsan faktörleri %33,58’ini oluşturmaktadır ve bu da yüksek hızlı tren kazalarına yol açan ikincil faktörlerdir. Çevresel faktörlerden kaynaklanan yüksek hızlı tren kazalarının sayısı en azdır ve %24,82’sini oluşturmaktadır [7]. Bu kapsamda kazaların sebebi olarak belirlenen bu üç kriter altında yüksek hızlı trenlerin işletim emniyetini de etkileyen kriterler olarak kabul edilebilmektedir. Ancak sadece bu kriterler değil, yüksek hızlı demiryolu işletme emniyetini etkileyen farklı kriterlerde bulunmaktadır. Bu nedenle, yüksek hızlı demiryolu işletme emniyeti riskini değerlendirirken, emniyeti etkileyebilecek tüm potansiyel faktörler kapsamlı bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda, Zheng vd., (2025) karmaşık coğrafi ve sosyal ortamlarında yüksek hızlı demiryolu işletme emniyetinin nasıl değerlendirilebileceğini ve işletme emniyetinin nasıl artırılabilirliğini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada 6 ana kriteri ve 22 alt kriteri birlikte ele almışlardır. 6 uzmanın değerlendirdiği kriterler BWM yöntemi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en önemli ana kriter izleme ana kriteridir. İzleme ana kriterini sırasıyla ekipman, çevre, kalite, personel ve yasal ana kriterleri takip etmektedir [8].

Cheng, Wang ve Pen (2021) yüksek hızlı demiryolu operasyonlarının emniyetini sağlamak için bir model oluşturmayı amaçladıkları çalışmalarında, yüksek hızlı demiryolu operasyonlarının emniyetini etkileyen faktörleri, personel, ekipman, çevre ve yönetim olmak üzere 4 ana kriter ve 17 alt kriter açısından değerlendirmişlerdir. Kriterler çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Ağ Yöntemi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en önemli ana kriter ekipman kriteridir. Ekipman kriterini sırasıyla yönetim, personel ve çevre kriteri takip etmektedir [9].

Hu vd., (2018) yüksek hızlı demiryolu işletmesinin emniyet operasyonunun ölçüm endekslerini oluşturmak için yüksek hızlı demiryolu emniyet operasyonunu etkileyen 4 ana kriter ve 16 alt kriter belirlemişlerdir. Çalışmada ana kriterler personel endeksi, araç endeksi, ekipman endeksi ve çevre olmak üzere 16 ölçüm endeksi olarak yeniden sınıflandırmıştır [10].

Yapılan literatür araştırması ve uzman görüşleri doğrultusunda bu çalışmada kullanılacak olan ve yüksek hızlı demiryolu işletme emniyetine etki eden kriterler Tablo 3’de sunulduğu gibidir.

Tablo 3. Ana kriterler ve alt kriterler

Ana Kriter	Alt Kriter	Kaynakça
Personel (P)	Personelin Fiziksel ve Mental Sağlığı(P1)	[8], [9], [11] [8], [9], [10], [11], [13]
	Personelin Mesleki Yeterliliği (P2)	[8], [10], [11]
	Emniyet Bilinci (P3)	[8], [9], [10]
Ekipman (E)	Rayların Düzgünlüğü (E1)	[9]
	Demiryolu Durumu (E2)	[9]
	Katener Sistem (E3)	[9], [10], [14]
	Sinyal ve Kontrol Sistemi (E4)	[9], [10]
	GMS-R Hizmet Kalitesi (E5)	[9], [11], [12], [9], [11], [12], [15]
Çevre (Ç)	Rüzgâr (Ç1)	[9], [11], [12], [15]
	Yağmur Fırtınası ve Tipi (Ç2)	[9], [11], [12], [15]
	Heyelan gibi Doğal Afetler (Ç3)	[15]
	Hat ve Duraklar Boyunca Kamu Güvenliği Koşulları (Ç4)	[9]

Tablo 3’te yer alan bilgilere göre çalışmada personel, ekipman ve çevre olmak üzere üç ana kriter ve 12 alt kriter yer almaktadır.

Personel kriterleri, yüksek hızlı demiryolu işletimi sırasında tren deposu, lokomotif deposu, kamu işleri deposu ve elektrik deposu gibi çeşitli fonksiyonel birimlerin personelini ifade etmekle kalmaz; aynı zamanda her düzeydeki yönetim personelini, teknik operatörleri ve yüksek hızlı tren yolcularını da kapsar [9]. Personelin fiziksel durumu, uzun saatler süren yoğun çalışmayı sürdürmek, acil durumlara müdahale etmek ve yol güvenliğini sağlamak için belirleyicidir [8], [13]. Personelin mesleki yeterliliği, personelin mesleki bilgi ve operasyonel yeteneklerini ifade eder; bunlar arasında tren kullanımı, sinyal kontrolü, ekipman bakımı ve diğer özel yetenekler yer alır [13].

Yüksek hızlı demiryolu işletiminde kullanılan ekipman türleri oldukça fazladır ve bu ekipmanlar karmaşık bir yapıya sahiptir ve birbirleriyle yüksek düzeyde bağlantılı sistemlerdir. Ayrıca, yüksek hızlı trenlerin çalışma ortamı genellikle dış mekânda olduğu için çeşitli doğal çevresel etkenlerden kolayca etkilenebilir. Yıllar süren işletim sonrasında, bazı demiryolu altyapılarında bozulmalar ve arızalar meydana gelmiştir. Yüksek hızlı trenlerin işletim güvenliğini doğrudan etkileyen unsurlar oldukları için, demiryolu altyapısının bütünlüğü ve kalitesi, demiryolu taşımacılığı emniyetinin temel koşullarıdır [16]. Bu nedenle ekipmanların düzgün çalışmasının ve genel işleyişinin sağlanması, sürüş güvenliği açısından kritik öneme sahiptir [9]. Yüksek hızlı demiryolu işletiminde yer alan sabit altyapı ve hareketli ekipmanlar arasında raylar, tekerlek-ray sistemleri, çekiş enerji besleme sistemleri, sinyal sistemleri ve iletişim sistemleri yer alır. Raylar, yüksek hızlı demiryolu işletiminin sabit altyapısını oluşturur [8], [9]. Ana ekipmanlar arasında katener sistemi, çekiş trafo merkezi ve veri toplama-izleme-kontrol sistemleri yer alır. Katener sistemi, demiryolu boyunca açık havada döşenmiş karmaşık yapıya sahip bir sistemdir ve bu nedenle arıza oranı yüksektir [17]. “Katener sistemi; trafo merkezi ile pantograf arası enerji iletimini sağlayarak 25 kV enerjisi pantografa ulaştıran havai hat sistemlerdir” [18]. Kısaca, katener sistem

trenlerin hareket edebilmesi için elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kullanılan havai hatlardan oluşan bir ağıdır. Yüksek hızlı tren seferlerinde, güvenli, zamanında ve verimli tren işletmesini sağlamak amacıyla trenler tarafından sinyallerin doğru bir şekilde alınması ve iletilmesi gerekmektedir [8]. Günümüzde yüksek hızlı demiryollarında kullanılan iletişim sistemi, daha sıkı kablosuz kapsama alanı, ağ hizmet kalitesi ve güvenilirlik gerekliliklerine sahip GSM-R dijital mobil iletişim sistemidir [9].

Çevresel faktörler ise kuvvetli rüzgarlar, sağanak yağmurlar, tipi, heyelan vb. gibi doğal çevre koşullarını içerir [11], [12]. Çevresel faktörler sadece doğa olaylarını değil aynı zamanda sosyal çevreyi de kapsamaktadır. Sosyal çevre ise, toplumsal faaliyetlerdeki siyasi, hukuki, ekonomik ve kamu güvenliği ortamını kapsar. Ayrıca önemli etkiye sahip olan hat boyunca yer alan istasyonlar, yapılar ve hattın kendisi de dış koşullar gibi önemli bir etkiye sahiptir [8], [9].

3. Metot

Yüksek hızlı demiryolu sistemi, bileşenleri açısından karmaşık bir yapıya sahiptir ve enerji tedarik sistemi, sinyal ve haberleşme sistemi, tekerlek-ray sistemi ile kontrol sisteminin normal çalışması demiryolu işletim emniyeti ile doğrudan ilişkilidir. Buna ek olarak, yüksek hızlı demiryolları işletim sürecinde hava koşulları, insan kaynaklı müdahaleler ve diğer etkenlere karşı da hassasiyet göstermektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde çalışmada hem sözel (bilgi, tecrübe vs.) hem de sayısal değerlendirmelerin yapılabildiği çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasının daha faydalı olacağı düşünülmüştür.

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi Saaty tarafından geliştirilmiştir ve çok kriterli karar verme yöntemlerinde biridir [19]. Yöntem karmaşık problemlerin çözümünde en çok kullanılan ve en güçlü yöntemlerden birisidir. Ancak yöntemin yargı ölçeğinin dengesiz olması, belirsizlik içermemesi ve yargı seçiminin öznel olması gibi bazı özellikleri sınırlılık olarak düşünülmektedir [20]. Bu doğrultuda bu çalışmada, kriterlerin önceliklendirilmesinde Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılmıştır. Yöntem 1996 yılında Chang tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibidir [21].

Adım 1. İkili karşılaştırmaları gerçekleştirmek için Bulanık sayılar tanımlanır. Çalışmada Tablo 4'de verilen bulanık sayılar ölçeği [22] kullanılmıştır.

Tablo 4. Bulanık sayılar ölçeği		
Bulanık Sayılar	Dilsel Değişkenler	Üçgensel Bulanık Sayılar
9	Son Derece Önemli	(9, 9, 9)
8	Çok Güçlü Aşırı Önem	(7, 8, 9)
7	Çok Güçlü Önem	(6, 7, 8)
6	Güçlü ila Çok Güçlü Önem	(5, 6, 7)
5	Güçlü Önem	(4, 5, 6)
4	Orta derece Güçlü Önem	(3, 4, 5)
3	Orta Önem	(2, 3, 4)
2	Eşit Derece Orta Önem	(1, 2, 3)
1	Eşit Önem	(1, 1, 1)

Adım 2. Bulanık sayıları kullanarak ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. İkili Karşılaştırmalar matrisi \tilde{A} olarak ifade edilir ve Denklem 1.'de gösterildiği gibidir.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & 1 & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 3. İkili karşılaştırmalar matrisinin her satırı için Denklem 2.'deki formül kullanılarak s_i yani bulanık sentetik mertebe değerleri hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

Denklem 2.'de i ile ikili karşılaştırmalar matrisindeki satır sayısı, j ile ikili karşılaştırmalar matrisindeki sütun sayısı ifade edilmektedir. Denklem 2.'de yer alan M_{gi}^j ikili karşılaştırmalar matrisinin üçgensel bulanık sayılarıdır. Denklem 2.'de yer alan değerler aşağıdaki denklemler yardımı ile hesaplanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{Gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i} \right) \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemlerde l_i, m_i, u_i bulanık sayıların birinci, ikinci ve üçüncü bileşenini ifade etmektedir.

Adım 4. Birbirlerine göre S_i 'nin büyüklüğü hesaplanır. Genelde, $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgensel bulanık sayılar ise aşağıda görüldüğü gibi büyüklüğü M_1 'in M_2 'ye göre büyüklüğü tanımlanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{m_2}(d) \begin{cases} 1 & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{eğer } l_1 \geq l_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (6)$$

Öte yandan, başka bir üçgen bulanık sayı olarak k 'dan üçgen bulanık bir sayının büyüklüğü Denklem 7. ile elde edilebilir:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_{1k})] = \text{Min } V(M \geq M_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (7)$$

Adım 5. İkili karşılaştırmalar matrisinde aşağıdaki adımları takip ederek kriterlerin ağırlıkları hesaplanır.

$$Vd^i(A_i) = \text{Min } V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i \quad (8)$$

Bu sebeple Denklem 9.'a göre normalize edilmemiş ağırlık vektörü hesaplanır.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad A_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

Adım 6. Nihai ağırlık vektörünü hesaplamak için, Adım 5'te hesaplanan ağırlık vektörü Denklem 10. ile normalize edilir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (10)$$

4. Bulgular

Bu çalışmanın amacı, yüksek hızlı demiryolu işletiminin emniyetini etkileyen kriterleri belirlemek ve bu kriterlerin görece önem derecelerini Bulanık analitik hiyerarşi süreci yöntemi kullanarak değerlendirmektir.

Bu kapsamda literatürden elde edilen ve Tablo 3'te sunulan kriterler ve alt kriterler 3 uzman tarafından bulanık sayılar kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonrasında her bir uzman tarafından oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrislerinin tutarlılık oranları hesaplanmıştır ve tüm değerlendirmelerin yani matrislerin tutarlı olduğu görülmüştür. Tutarlılık oranının 0,1'den küçük olması ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Devam eden aşamada 3 uzmanın değerlendirildiği matrislerin geometrik ortalaması alınarak matrisler birleştirilmiştir. Bu doğrultuda hazırlanan personel, ekipman ve çevre ana kriterlerinin ikili karşılaştırmalar matrisi ve kriterlerin ağırlıkları Tablo 5'te gösterildiği gibidir ve yöntem kısmındaki işlem adımları uygulanarak hesaplanmıştır. Matrisin tutarlılık oranı 0.038'dir ve bu durum uzmanların değerlendirmelerinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Ana kriterlerin karşılaştırması ve ağırlıkları

	P	E	Ç	Ağırlıklar
P	(1,000,1,000,1,000)	(0,167,0,322,1,000)	(0,333,1,651,4,000)	0,295
E	(1,000,3,106,5,988)	(1,000,1,000,1,000)	(2,000,4,717,8,000)	0,472
Ç	(0,250,0,606,3,003)	(0,125,0,212,0,500)	(1,000,1,000,1,000)	0,232

Tablo 5'e göre ağırlığı yani önemi en yüksek olan ana kriter ekipman (E - %47,2) ana kriteridir. Ekipman ana kriterini personel (P - %29,65) ana kriteri takip etmektedir. Personel ana kriterini ise çevre (Ç - %23,2) ana kriteri takip etmektedir.

Personel ana kriteri personelin fiziksel ve mental sağlığı (P1), personelin mesleki yeterliliği (P2) ve personelin emniyet bilinci (P3) alt kriterlerinden oluşmaktadır. Personel ana kriteri için oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisi ve alt kriterlerin ağırlıkları Tablo 6'da sunulduğu gibidir. Matrisin tutarlılık oranı 0,065'tir.

Tablo 6. Personel ana kriterinin alt kriterlerinin ikili karşılaştırması ve ağırlıkları

	P1	P2	P3	Ağırlıklar
P1	(1,000,1,000,1,000)	(0,00,0,437,1,000)	(2,000,3,000,4,000)	0,378
P2	(1,000,2,288,5,000)	(1,000,1,000,1,000)	(2,000,4,716,8,000)	0,565
P3	(0,250,0,333,0,500)	(0,125,0,212,0,500)	(1,000,1,000,1,000)	0,057

Tablo 6'ya göre personel ana kriterinin alt kriterlerinden ağırlığı yani önemi en yüksek olan alt kriter personelin mesleki yeterliliği (P2 - %56,5) alt kriteridir. Personelin mesleki yeterliliği alt kriterini sırasıyla personelin fiziksel ve mental sağlığı (P1 - %37,8) ve personelin emniyet bilinci (P3 - %5,7) alt kriterleri takip etmektedir.

Ekipman ana kriteri rayların düzgünlüğü (E1), demiryolu durumu (E2), katenar sistem (E3), sinyal ve kontrol sistemi (E4) ve GMR-S hizmet kalitesi (E5) alt kriterlerinden oluşmaktadır. Ekipman ana kriteri için oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisi ve alt kriterlerin ağırlıkları Tablo 7’de sunulduğu gibidir. Matrisin tutarlılık oranı 0,052’dir.

Tablo 7. Ekipman ana kriterinin alt kriterlerinin ikili karşılaştırması ve ağırlıkları

	E1	E2	E3	E4	E5	Ağırlıklar
E1	(1,000,1,000, 1,000)	(1,000,2,080, 4,000)	(1,000,1,587, 5,000)	(0,167,0,21 6,0,333)	(0,250,0,381, 1,000)	0,184
E2	(0,250,0,481, 1,000)	(1,000,1,000, 1,000)	(0,333,0,909, 4,000)	(0,125,0,19 0,0,500)	(0,167,0,271, 1,000)	0,112
E3	(0,200,0,630, 1,000)	(0,250,1,100, 3,003)	(1,000,1,000, 1,000)	(0,167,0,23 2,0,333)	(0,200,0,250, 0,333)	0,071
E4	(3,003,4,630, 5,988)	(2,000,5,263, 8,000)	(3,003,4,310, 5,988)	(1,000,1,00 0,1,000)	(1,000,2,001, 3,000)	0,349
E5	(1,000,2,625, 4,000)	(1,000,3,690, 5,988)	(3,003,4,000, 5,000)	(0,333,0,50 0,1,000)	(1,000,1,000, 1,000)	0,283

Tablo 7’ye göre ekipman ana kriterinin alt kriterlerinden görece önemi en yüksek olan alt kriter sinyal ve kontrol sistemi (E4- %34,9) alt kriteridir. Bu alt kriteri sırasıyla GMR-S hizmet kalitesi (E5 - %28,3), rayların düzgünlüğü (E1 - %18,4), demiryolu durumu (E2 - %11,2), katenar sistem (E3 - %7,1) alt kriterleri takip etmektedir.

Çevre ana kriteri rüzgâr (Ç1), yağmur fırtınası ve tipi (Ç2), heyelan vb., afetler (Ç3), ve hat ve durak boyunca kamu güvenliği koşulları (Ç4) alt kriterlerinden oluşmaktadır. Ekipman ana kriteri için oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisi ve alt kriterlerin ağırlıkları Tablo 8’de sunulduğu gibidir. Matrisin tutarlılık oranı 0,031’dir.

Tablo 8. Çevre ana kriterinin alt kriterlerinin ikili karşılaştırması ve ağırlıkları

	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ağırlıklar
Ç1	(1,000,1,000, 1,000)	(1,000,1,588, 3,000)	(0,250,0,333, 0,500)	(0,125,0,181, 0,333)	0,09
Ç2	(0,333,0,630, 1,000)	(1,000,1,000, 1,000)	(0,167,0,255, 0,500)	(0,111,0,165, 0,333)	0
Ç3	(2,000,3,003, 4,000)	(2,000,3,922, 5,988)	(1,000,1,000, 1,000)	(0,333,0,500, 1,000)	0,373
Ç4	(3,003,5,525, 8,000)	(3,003,6,061, 9,009)	(1,000,2,000, 3,003)	(1,000,1,000, 1,000)	0,537

Tablo 8’e göre çevre ana kriterinin alt kriterlerinden görece önemi en yüksek olan alt kriter hat ve durak boyunca kamu güvenliği koşullarıdır (Ç5 - %53,7) alt kriteridir. Bu alt kriteri sırasıyla heyelan vb. afetler (Ç4 - %37,3), rüzgâr (Ç1 - %9) ve yağmur fırtınası ve tipi (Ç3 - %0) alt kriterleri takip etmektedir.

Ana kriterler ve alt kriterler birlikte değerlendirildiğinde ise alt kriterlerin önem dereceleri Tablo 9’da sunulduğu gibidir.

Tablo 9. Kriterlerin toplam ağırlıkları

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları	Toplam Ağırlıklar
Personel Ana Kriteri (P)	0,295	Personelin Fiziksel ve Mental Sağlığı (P1)	0,378	0,112
		Personelin Mesleki Yeterliliği (P2)	0,565	0,167
		Emniyet Bilinci (P3)	0,057	0,017
		Rayların Düzgünlüğü (E1)	0,184	0,087
Ekipman Ana Kriteri (E)	0,472	Demiryolu Durumu (E2)	0,112	0,053
		Katenar Sistem (E3)	0,071	0,034
		Sinyal ve Kontrol Sistemi (E5)	0,349	0,165
		GMR-S Hizmet Kalitesi (E6)	0,283	0,134
		Rüzgâr (Ç1)	0,09	0,021
Çevre Ana Kriteri (E)	0,232	Yağmur Fırtınası ve Tipi (Ç2)	0	0,000
		Heyelan vb. Afetler (Ç3)	0,373	0,087
		Hat ve Durak Boyunca Kamu Güvenliği Koşulları (Ç4)	0,537	0,125

Tablo 9’da yer alan değerler hesaplanırken alt kriter grubunun dahil olduğu ana kriterin ağırlığı ile alt kriterin göreceli ağırlığı çarpılmıştır. Örneğin; personel ana kriterinin ağırlığı 0,295’tir. Personelin fiziksel ve mental sağlığı alt kriterinin ağırlığı ise 0,378’tir. Bu iki ağırlık çarpıldığında alt kriter olan personelin fiziksel ve mental sağlığı alt kriterinin toplam içindeki ağırlığı (0,112) bulunmuş olur.

Tablo 9’a göre yüksek hızlı demiryolu işletme emniyetini etkileyen en önemli personelin mesleki yeterliliğidir (%16,7). Personelin mesleki yeterliliği kriterini sırayla sinyal ve kontrol sistemleri (%16,5), GMR-S hizmet kalitesi (%13,4), hat ve durak boyunca kamu güvenliği koşulları (%12,5) ve personelin fiziksel ve mental sağlığı (%11,2) kriterleri takip etmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, yüksek hızlı demiryolu işletiminin emniyetini etkileyen kriterler sistematik bir biçimde ele alınmış ve bu kriterlerin göreceli önem düzeyleri Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Literatür incelemesi ve alanında deneyimli uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda belirlenen ana ve alt kriterler, yüksek hızlı demiryolu işletim emniyetinin çok boyutlu ve karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Belirsizlik ve öznel değerlendirmelerin söz konusu olduğu bu tür problemlerde Bulanık AHP yönteminin kullanılması, karar verme sürecinin daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar üretmesine katkı sağlamıştır.

Elde edilen bulgulara göre, yüksek hızlı demiryolu işletme emniyetini etkileyen en önemli ana kriterin ekipman (%47,2) ana kriteridir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde Wan-Lin vd., (2025) yüksek hızlı tren kazalarına sebep olan kriterleri değerlendirdikleri çalışmalarında en önemli ana kriter ekipman ana kriteri çıkmıştır (%41,16) [6]. Cheng, Wang ve Peng (2020)’de yaptıkları çalışmalarına göre en önemli kriter ekipman ana kriteridir.

En önemli alt kriterin ise personelin mesleki yeterliliği alt kriteri olarak belirlendiği çalışmada, %16,7 ağırlık değeri ile ilk sırada yer alan bu kriter, yüksek hızlı demiryolu sistemlerinde insan faktörünün kritik rolünü açıkça ortaya koymaktadır. Personelin bilgi düzeyi, teknik becerileri, eğitim durumu ve mesleki deneyimi; operasyonel hataların önlenmesi ve acil durumlara doğru ve hızlı müdahale edilmesi açısından belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Buna ek olarak, emniyetin sağlanmasında nitelikli iş gücüne yapılan yatırımların kritik bir ekonomik öncelik olduğunu da ortaya koymaktadır. Eğitim, sertifikasyon ve sürekli mesleki gelişim programlarına ayrılacak kaynaklar, kısa vadede maliyet unsuru olarak görülse de uzun vadede kaza risklerinin

azalması, bakım-onarım maliyetlerinin düşmesi ve sürekliliğinin sağlanması yoluyla ekonomik fayda yaratmaktadır.

Personelin mesleki yeterliliğini sırasıyla sinyal ve kontrol sistemleri (%16,5) ile GSM-R hizmet kalitesi (%13,4) kriterleri izlemektedir. Bu bulgu, ileri teknolojiye dayalı yüksek hızlı demiryolu işletiminde haberleşme, sinyalizasyon ve kontrol altyapısının güvenli ve kesintisiz bir işletim için vazgeçilmez olduğunu göstermektedir. Literatürde, yüksek hızlı hatlarda sinyalizasyon ve otomatik tren kontrol sistemlerinin emniyet performansı üzerindeki belirleyici etkisi sıklıkla vurgulanmaktadır [23]. Özellikle tren–yer haberleşmesinin güvenilirliği, trafik yönetimi ve operasyonel koordinasyon açısından kritik öneme sahiptir. Cheng, Wang ve Peng'in (2020) çalışmalarına göre en önemli ikinci alt kriter sinyal ve kontrol sistemleridir ve bu kriteri GSM-R hizmeti kalitesi kriteri takip etmektedir. Bu sonuçlar ile çalışmadan elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Sinyal ve kontrol sistemleri (%16,5) ile GSM-R hizmet kalitesinin (%13,4) üst sıralarda yer alması, ileri teknolojiye dayalı altyapı yatırımlarının işletim emniyeti açısından vazgeçilmez olduğunu göstermektedir. Bu sistemlere yapılacak yatırımlar yüksek başlangıç maliyetleri gerektirse de hat kapasitesinin artması, sefer iptallerinin azalması ve operasyonel verimliliğin yükselmesi sayesinde ekonomik sürdürülebilirliği desteklemektedir.

Bunun yanı sıra, hat ve durak boyunca kamu güvenliği koşulları (%12,5) ile personelin fiziksel ve mental sağlığı (%11,2) kriterlerinin de yüksek ağırlık değerlerine sahip olması, yüksek hızlı demiryolu emniyetinin yalnızca teknik sistemlerle sınırlı olmadığını ortaya koymaktadır. Altyapı çevresindeki güvenlik önlemleri, yetkisiz erişimlerin engellenmesi ve yolcu güvenliğinin sağlanması; aynı zamanda personelin fiziksel ve psikolojik açıdan sağlıklı koşullarda çalışması, sistemin genel emniyet performansını doğrudan etkilemektedir. Daha önce yapılan araştırmalar, yorgunluk, stres, dikkat dağınıklığı ve psikolojik baskı gibi durumlar yaşayan çalışanların demiryolu işletmelerinde hata olasılığının yüksek olduğunu ortaya koymuştur [24].

Sonuç olarak, bu çalışma yüksek hızlı demiryolu işletim emniyetinin insan, teknoloji ve çevresel faktörlerin bütüncül bir etkileşimi sonucunda şekillendiğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, karar vericiler ve işletmeciler için personel eğitimi ve yetkinlik geliştirme programlarının önceliklendirilmesi, sinyalizasyon ve haberleşme sistemlerinin sürekli izlenmesi ve iyileştirilmesi ile kamu ve çalışan güvenliğine yönelik önleyici tedbirlerin güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Gelecek çalışmalarda, daha fazla uzman katılımı ile kriter setinin genişletilmesi ve farklı çok kriterli karar verme yöntemleriyle karşılaştırmalı analizlerin yapılması, yüksek hızlı demiryolu işletim emniyetine ilişkin daha kapsamlı ve genellenebilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca kriterlerin değerlendirilmesinde yüksek hızlı demiryolu garlarında çalışan (Bölge kontrolörü, makasçı vb.), demiryolu ekipmanları tedarikçisi, akademisyen gibi farklı sektörlerden uzmanların yer alması değerlendirmelerin daha verimli olmasını sağlayabilir. Bunlara ek olarak, yüksek hızlı demiryolu işletim emniyetini etkileyen kriterlerin zaman içerisinde etki derecelerinin değişip değişmediğini, değişti ise nasıl değiştiğinin gösteren dinamik karar verme modelleri oluşturulabilir.

Kaynakça

- [1] M. Momenitabar, Z. D. Ebrahimi, and M. A. Arani, "Systematic and analytical review of the socioeconomic and environmental impact of the deployed high-speed rail (HSR) Systems on the world," *arXiv preprint arXiv:2003.04452*. 2020
- [2] Union Internationale des Chemins de fer (UIC), *High speed rail fast track to sustainable mobility*, 2018
- [3] M. F. Altan, and M. Ç. Kızıldağ, "Yüksek hızlı demiryolları, gelişme eğilimleri, hizmet parametreleri üzerine bir derleme," *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 11(3), 560-570, 2018

- [4] Statbase. "Indicators. Air, rail and water transportation: high-speed rail lines," 2023. [Online]. Available: <https://statbase.org/datasets/air-rail-and-water-transportation/high-speed-rail-lines/?year=2023&frmreq=0&sproc=sum&filter=&sort=> [Erişilmiştir 19 Ocak, 2026]
- [5] International Union of Railways, *Atlas high -speed rail 2024*. Paris: Geography and Railway Traffic Research Group, 2025
- [6] J. Wang, Y. Wang, Y. Peng, and J. J. Lu, "Examining partial proportional odds model in analyzing severity of high-speed railway accident," *Smart and resilient transportation*, 3(1), 12-24, 2021, doi: 10.1108/SRT-10-2020-0022
- [7] D. Wan-Lin, S. Ming, Z. Zhao, and H. Bon-Gang, "Mapping high-speed railway accidents 2000–2024: characteristics, patterns, and preventive measures," *Accident Analysis & Prevention*, 222, 108255, 2025, doi: 10.1016/j.aap.2025.108255
- [8] H. Zheng, K. Zhang, C. Wu, J. Li, B. Yang, G. Wu, and B. Liu, "Evaluating High-Speed Rail Operation Safety through an Integrated Framework: A Case Study in China," *Transportation Research Record*, 03611981251384961, 2025, doi: 10.1177/03611981251384961
- [9] L. Cheng, Y. Wang, and Y. Peng, "Research on risk assessment of high-speed railway operation based on network ANP," *Smart and Resilient Transportation*, 3(1), pp. 37-5, 2021, doi:10.1108/SRT-10-2020-0024
- [10] Q. Hu, M. Tan, H. Lu, and Y. Zhu, "A rough set-based measurement model study on high-speed railway safety operation," *Plos one*, 13(6), pp. e0197918, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0197918
- [11] L. Wang, C. Jin, and C. Xu, "An evaluative study of the operational safety of high-speed railway stations based on IEM-Fuzzy comprehensive assessment theory," *Journal of Information Processing Systems*, 16(5), pp. 1064-1073, 2020, doi: 10.3745/JIPS.04.0188
- [12] S. Gu, and K. Li, "Reliability analysis of high-speed railway network," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of risk and reliability*, 233(6), pp. 1060-1073, 2019, doi: 10.1177/1748006X19853681
- [13] M. Kyriakidis, A. Majumdar, and W. Y. Ochieng, "Data based framework to identify the most significant performance shaping factors in railway operations," *Safety science*, 78, pp. 60-76, 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2015.04.010
- [14] S. Yıldırım, "Yüksek hızlı tren hatlarında sinyalizasyon blok mesafelerinin hesaplanması," *Demiryolu Mühendisliği*, (14), pp. 14-25, 2021, doi: 10.47072/demiryolu.869933
- [15] Q. Hu, N. Gao, and B. Zhang, "High speed railway environment safety evaluation based on measurement attribute recognition model," *Computational intelligence and neuroscience*, 2014(1), 470758, 2014, doi: 10.1155/2014/470758
- [16] C. Lu, and C. Cai, "Overview on safety management and maintenance of high-speed railway in China," *Transportation Geotechnics*, 25, 100397, 2020, doi: 10.1016/j.trgeo.2020.100397
- [17] C. G. Ela, and A. Karamancıoğlu, "Çevresel koşulların katener sistemi üzerindeki etkisi," *Demiryolu Mühendisliği*, (17), pp. 26-37, 2023, doi: 10.47072/demiryolu.1177292
- [18] Ş. Kuşdoğan, and Ö. Doğruer, "Demiryolu elektrifikasyonunda katener sistem tasarımı," *Demiryolu Mühendisliği*, (14), 130-142, 2021, doi: 10.47072/demiryolu.871106
- [19] T. L. Saaty, "Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process," *Behaviormetrika*, 18(29), pp. 1–9, 1991,
- [20] P. Sirisawat, and T. Kiatcharoenpol, "Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers," *Computers & Industrial Engineering*, 117, pp. 303-318, 2018, doi: 10.1016/j.cie.2018.01.015
- [21] D. Y. Chang, "Applications of the extent analysis method of fuzzy AHP," *European Journal of Operational Research*, 95, pp. 649-655, 1996, doi: 10.1016/0377-2217(95)00300-2
- [22] R. Kumar, S. Tiwari, and S. Kansara, "Barriers prioritization of the indian steel industry supply chain: applying AHP and fuzzy AHP method," *Vision*, 29(2), pp. 200-208, 2025, doi: 10.1177/09722629211065687
- [23] V. J. Hodge, S. O'Keefe, M. Weeks and A. Moulds, "Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in the Railway Industry: A Survey," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(3), pp. 1088-1106, 2015, doi: 10.1109/TITS.2014.2366512
- [24] A. J. Filtness, and A. Naweed, "Causes, consequences and countermeasures to driver fatigue in the rail industry: The train driver perspective," *Applied Ergonomics*, 60, pp. 12-21, 2017, doi: 10.1016/j.apergo.2016.10.009

Özgeçmiş**Kismet CİNGÖZ**

Lisans eğitimini Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme bölümünde, yüksek lisans ve doktora eğitimini Mersin Üniversitesi İşletme bölümünde tamamlamıştır. Şu anda Tarsus Üniversitesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. İlgili alanına giren araştırma konuları lojistik, tedarik zinciri, optimizasyon, simülasyon ve çok kriterli karar verme yöntemleridir.

E-Posta: kismetcingoz@tarsus.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.