



Sürdürülebilir Ulaştırma Sistemlerinin Ana Unsuru Olarak Demiryolu Taşımacılığı: Nicel Bir Değerlendirme

Ömer CENGİZ^{1b}

Kafkas Üniversitesi, Sarıkamış Meslek Yüksekokulu, Lojistik, Kars, Türkiye

*omercengiz99@gmail.com

(Alınış/Received: 16.12.2024, Kabul/Accepted: 09.01.2025, Yayınlama/Published: 31.01.2025)

Öz: Bu araştırma, sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin gerekli hale geldiği günümüzde, çevreci bir taşıma modu olan demiryolu taşımacılığının yeniden artan önemine vurgu yapma amacı taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda, belirlenmiş değişkenlere ait veriler elde edilerek, nicel analiz yöntemleri ile analiz edilmiştir. Araştırmanın veri setini 2000-2021 yılları arasında 37 ülkeye ait sürdürülebilir kalkınma hedefleri, demiryolu yatırım oranları, sera gazı emisyon miktarları ile demiryolu yük ve yolcu taşıma miktarları oluşturmaktadır. Araştırmada parametrik analiz yöntemlerinden Bağımsız İki Örneklem T Testi ve Pearson Korelasyon Analizi yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda demiryolu taşımalarına olan talebin sürekli olarak arttığı, ülkelerin sera gazı emisyon miktarlarının anlamlı bir şekilde düştüğü, demiryolu yük taşımaları ile ülkelerin kalkınma hedefleri arasında pozitif yönde arasında anlamlı bir ilişki olduğu ve demiryolu yatırım oranları ile sera gazı emisyon miktarları arasında negatif yönlü anlamlı bir ilişki olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilirlik, Ulaştırma Sistemleri, Demiryolu Taşımacılığı

Railway Transport as the Main Element of Sustainable Transport Systems: A Quantitative Assessment

Abstract: This research aims to emphasize the increasing importance of rail transportation as an environmentally friendly mode of transportation in today's world where sustainable transportation systems have become necessary. For this purpose, data on the determined variables were obtained and analyzed using quantitative analysis methods. The data set of the research consists of sustainable development goals, railway investment rates, greenhouse gas emission amounts and railway freight and passenger transportation amounts of 37 countries between 2000-2021. Independent Two Sample T Test and Pearson Correlation Analysis methods, which are among the parametric analysis methods, were used in the research. As a result of the analyzes, it was concluded that the demand for railway transportation is constantly increasing, the greenhouse gas emission amounts of the countries have decreased significantly, there is a positive and significant relationship between railway freight transportation and the development goals of the countries, and there is a negative and significant relationship between railway investment rates and greenhouse gas emission amounts.

Keywords: Sustainability, Transportation Systems, Rail Transport

1. Giriş

Dünya üzerinde son yıllarda yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmelerle birlikte tüm sektörlerde yürütülen faaliyetler sonucu olumsuz çevresel etkilerin yüksek düzeylere çıktığı bilinmektedir. Ekonomik ve sosyal yaşam alanlarının bu durumdan olumsuz yönde etkilenmesinin bir sonucu olarak, sürdürülebilirlik önemli bir kavram haline gelmiştir. Sürdürülebilirlik, ekonomik verimlilik ve çevre korumacı yaklaşımların gerekliliğini ve aciliyetini ortaya koyan bir yaklaşımdır. Gelişen bu bakış açısı, dünyada hareket etmesi gereken yük ve yolcuların vazgeçilmez gereksinimi olan ulaştırmayı da yakından ilgilendirmektedir [1]. Mevcut dünya nüfusunun 2030 yılına kadar 8,5 milyara ulaşması beklenirken, bunun doğal bir sonucu olarak

Atıf için/Cite as: Ö. Cengiz, "Sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin omurgası demiryolu taşımacılığı: nicel bir değerlendirme" *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 21, ss. 111-123, Temmuz 2025. doi: 10.47072/demiryolu.1602560

insanlara ve yüklere ait ulaşım hareketlerinde de artış yaşanacağı düşünülmektedir. Bunun bir sonucu olarak çevresel sorunların artacağı ve gerekli enerji talebinin yükseleceği tahmin edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, gelecekte ulaşım sistemlerinin ihtiyaç duyduğu enerji talebini daha da azaltacak enerji tasarrufu çözümüne odaklı ve daha çevreci ulaşım sistemlerine geçiş gerekliliği artmaktadır. Bu bakış açısı ile ulaşım türleri arasındaki entegrasyonun etkin şekilde kullanımı ve çevreci ulaşım türlerinin etkinliğinin artırılması sağlanarak ulaşım faaliyetleri açısından sürdürülebilirliğin ilk adımları atılmalıdır [2].

Ulaşım sektörü tüm ticari faaliyetleri birbirine bağlamanın yanı sıra gereksinim duyulan bütün yer değişim hareketlerini mümkün kılarak, ülke ekonomilerinin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Sektörün bu olumlu rolünün yanında, küresel karbon emisyonlarındaki büyük payı sebebiyle olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Ulaşım kaynaklı emisyonlar, dünyadaki emisyonların %25'ini oluşturmaktadır. Bu oranın yüksekliği nedeni ile çevreci bir yaklaşımla dizayn edilmesi gereken öncelikli sektörlerden biri ulaşım sektörüdür [3,4]. Yeşil mutabakat ile Avrupa Birliği'nin ulaşım politikalarında yer alan temel konular güvenli, çevreci, emniyetli ve etkin ulaşım sistemleri olarak sıralanmaktadır. Dünyada petrole bağımlı olan taşıma sektörü, petrol fiyatlarında yaşanan dalgalanmalar ve çevreye verdiği zararlar dikkate alındığında, önümüzdeki yıllarda önemli sorunların meydana geleceği bilinmekte ve ulaşım sistemlerindeki ihtiyaç duyulan dönüşümlerin hızlı bir biçimde planlanması gerekmektedir [5,6].

Yük taşımacılığının tüm dünyada hızlı bir şekilde genişlemesi ve bu sektöre duyulan ihtiyacın her geçen gün artmasıyla birlikte sürdürülebilirlik ve çevrenin korunmasına ilişkin konularda da ciddi endişeler ortaya çıkmaktadır [7]. Geliştirilecek çevreci alternatif taşıma organizasyonları ve alternatif enerji kaynakları açısından teknolojinin rolü yüksek düzeyde önemlidir. Ulaşım sistemleri açısından en sürdürülebilir çözümler her ulaşım modunun en son teknolojileri, yenilikçi motor yapısını, alternatif yakıtları ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması olacaktır [4]. Sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin kurulmasında ve devamlılığının sağlanmasında en etkin paydaşın demiryolu taşımacılığı olacağı beklenmektedir. Bu beklentiler ışığında ulaşım faaliyetlerinde sürdürülebilir sistemlerin kurulması ve demiryolu taşımacılığının yeni ulaşım entegrasyonları içerisinde önemli bir paya sahip olmasının düşünülmesi nedeniyle bu bilimsel araştırma yapılmıştır. Araştırma demiryolu taşımacılığının sürdürülebilir ulaşım faaliyetlerine sağlayacağı desteğe dikkat çekmeyi hedeflemektedir. Araştırmanın amacı çevreci bir taşıma türü olan demiryolu taşımacılığının önemini giderek artmasıyla birlikte sürdürülebilir taşıma faaliyetlerine sunacağı katkıları vurgulamak ve belirlenmiş değişkenler açısından demiryolu taşımacılığının mevcut durumunu değerlendirmektir. Araştırmanın kavramsal çerçeve bölümünde ilgili kavramların açıklanmasına ve literatürdeki görünürlük düzeylerine değinilmiştir. Yöntem ve bulgular bölümlerinde nicel analiz yöntemleri kullanılarak kavramlar arasındaki ilişki ve farklılıkların varlığına değinilerek sürdürülebilir ulaşım sistemleri için demiryolu taşımacılığının önemine vurgu yapılmıştır.

2. Kavramsal Çerçeve

Sürdürülebilirlik, gelecek kuşakların ihtiyaç duyacakları kaynakların korunması hedefiyle bugünün ihtiyaçlarını karşılayan ekonomik kalkınma faaliyetlerinin bütünü olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirlik aynı zamanda, küresel eşitlik bakışı ile tüm insanlığın temel ihtiyaçlarını karşılayabilecek sistemi temsil eden bir model arayışıdır [8]. Son yıllarda yaşanan çevresel ve iklimsel değişimler, doğal kaynaklarda yaşanan azalmalar, toplumsal dönüşümler ve ekonomik krizler gibi birçok önemli sorun ilk olarak mevcut durumun korunmasını, devamında ise gelecek nesiller için yaşanabilir bir dünya anlayışını önemli kılmaktadır [9]. Mevcut kaynakların gelecek kuşaklara aktarılacak üzere verimli bir şekilde kullanılması ve çevrenin korunması amacı göz ardı edilmeden ekonomik ve sosyal gelişme hedeflerinin sağlanması ise sürdürülebilir kalkınma olarak adlandırılmaktadır. Bu kavram

içerisinde tüm insan ihtiyaçlarının karşılanmasını hedefleyen eşitlik prensibi de yer almaktadır. Gelecek nesillerin gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün verilmeden, bu günün ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla sürdürülebilir kalkınma çabası gösterilmelidir [4].

Ulaştırma kavramı, ihtiyaç duyulan mal ve hizmetlere zaman ve mekân faydası kazandırmak amacıyla fiziksel hareketlerini ifade etmektedir [10]. Ulaştırma faaliyetlerinin toplumlar üzerinde ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarda önemli etkileri vardır. Özellikle kentsel alanlarda ulaşılması hedeflenen sürdürülebilirlik düzeylerine ulaştırma faaliyetleri ile ilgili düzenlemelerin katkısı göz ardı edilemeyecektir. Sürdürülebilir ulaştırma sistemlerine geçişte öncelikli adımlar, geleneksel yakıtların optimum kullanımı, toplu taşıma sistemlerinin güçlendirilmesi, teknolojik sistemlerin mevcut yapılara entegre edilerek etkinlik oranlarının sürekli artırılması ve bütüncül ulaştırma sistemlerinin dizayn edilmesidir. Bu sayede; gelişmiş enerji ve kaynak sürdürülebilirliğinin arttığı, trafik ve riskli taşımaların azaldığı, taşıma kaynaklı kirliliğin azaldığı ve optimize edilmiş bir ulaştırma sistemin kurulduğu görülecektir [11]. Sürdürülebilir ulaştırma kavramı, daha az enerji kullanmayı hedefleyen ve çevreye verilen zararların minimuma indirildiği önemli bir alan olarak tanımlanırken, sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ise, tüm dünyada ihtiyaç duyulan hareketliliğin güvenli ve sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla çevresel zararları azaltarak ve yenilenemeyen kaynakların kullanımını sınırlandırarak verimli ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sunmayı hedefleyen sistem olarak tanımlanmaktadır [12]. Sürdürülebilir ulaştırma konusu planlanan gelecek için çözüm bekleyen öncelikli bir alanın dizayn edilmesinde önemli katkılar sunacaktır [9]. Sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin tanımı içerisinde sosyal açıdan eşitlik, sağlık, erişilebilirlik, güvenlik, bireysel sorumluluk, bütüncül planlama yer alırken çevresel açıdan; kirliliği önleme, verimli arazi ve kaynak kullanımı ekonomiklik prensibi ile yer almaktadır [13,14].

Araştırma konusu içerisinde yer alan diğer önemli bir kavram ise sera gazlarıdır. Atmosferde meydana gelen sera gazları, su buharı (H_2O), metan (CH_4), azotoksit (N_2O), karbondioksit (CO_2), ozon (O_3) gazları ve endüstriyel üretimler sonucunda ortaya çıkan sülfürheksaflorid (SF_6), hidroflorokarbon (HFC), perflorokarbon (PFC) gibi florür içeren bileşiklerden oluşmaktadır. İnsan kaynaklı sera gazlarının en önemlisi olan karbondioksit toplam sera gazlarının %80'ini oluşturmaktadır. Karbondioksit havada en yüksek düzeyde ısı tutma özelliği gösterirken, miktarının artması ile birlikte küresel ısınmanın önemli sebeplerinden biri olarak görülmektedir [9]. İlerleyen başlıklarda ise sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ile demiryolu taşımacılığı ve sürdürülebilirlik kavramlarının daha ayrıntılı açıklanmasına yönelik tanımlamalar, kapsamlı bir şekilde yer almaktadır.

2.1. Ulaştırma sistemlerinde sürdürülebilirlik

Tedarik zinciri ve lojistik operasyonlarının sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemli bir yere sahip olduğu bilinmekte ve bu alanlarda gerekli gelişimin sağlanması amacı ile çalışmalar ve projeler yürütülmektedir [15]. Tedarik zinciri ve lojistiğin önemli bir unsuru olan ulaştırma sistemlerinin amacı, yüklerin ve yolcuların çevre ve toplum üzerinde en az olumsuz etki bırakacak biçimde ve verimli olarak taşınmasıdır. Dünyadaki mevcut ulaştırma sistemleri, hava kirliliğinin artmasının, sera gazı emisyonlarındaki yüksek oranların, çevresel bozulmaların, küresel ısınmanın ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerin ana nedenlerinden biridir. Ulaştırma sektörünün sürdürülebilir ve çevreci bir hale getirilmesi mevcut sorunların aşılması için önemli bir adımdır [14]. Söz konusu sektörün yüksek düzeyde fosil yakıtlara bağımlı olması nedeniyle, küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarına katkısı yüksektir. Bu etkilerin azaltılması ve ulaştırma faaliyetlerinin daha etkin yürütülmesi amacına yönelik olarak sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin kurulması hızlı ve öncelikli hale gelmektedir [3,17]. Ek olarak, yük taşımacılığında sürdürülebilir sistemlerin kurulması, çevresel açıdan sağlıklı ve

dönüşüm ekonomisini destekleyecek önemli politikaların geliştirilmesine büyük faydalar sağlayacaktır [7].

Bir ulaşım sisteminin sürdürülebilir olmasındaki temel etkenler; sistemin ekonomik olması, tüm insanlara fayda sağlayacak olması ve çevre dostu olacak şekilde tasarlanmasıdır. Bu etkenler birbirinden bağımsız değildir ve ortak çözüm noktaları bulunmalıdır. Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi tüm kullanıcılar için hareketlilik ve etkin erişim, güvenli ve çevre dostu bir ulaşım şekli, ekonomik açıdan sürdürülebilir bir sistem ve halk sağlığı (kardiyo-solunum hastalıkları, ölümler ve kanser) gibi birçok konu ile yakından ilişkilidir. Sürdürülebilir ulaştırma sistemleri için son yıllarda odaklanılan konular yüksek oranda kentleşmiş bölgelerdeki trafik sıkışıklığının hafifletilmesi ve kirlenici emisyonları en aza indiren geleneksel ulaşım sistemlerine alternatif ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi olmuştur [6].

Büyük bölümü karayolu taşımaları ile gerçekleştirilen yük taşımalarında sürdürülebilir ulaşım modlarının kullanımı bir gereksinim olarak ortaya çıkmaktadır. Esneklik, hız, güzergâh ve kapıdan kapıya taşıma gibi avantajları nedeniyle çok tercih edilen karayolu taşıma modu; yoğun enerji tüketimi, kazalar, gürültü ve çevre kirliliği gibi önemli olumsuzlukları bünyesinde barındırmaktadır. Bu sebeple oluşturulacak sürdürülebilir ulaşım sistemleri içerisinde karayolu taşıma modunun optimum düzeyde kullanımının hesaplanması önem arz etmektedir. Dönüşüm sırasında sisteme dâhil edilecek önemli bir taşımacılık modu demiryolu taşımacılığıdır. Bu taşıma modu, çok düşük emisyon düzeylerine sahip olması nedeniyle yeşil bir ulaştırma modu olarak değerlendirilmektedir [18]. Sürdürülebilir taşımacılıkta yüklerin tek bir taşıma türü ile taşınması yerine iki veya üç farklı taşıma sistemi olarak planlanarak, karayolu araçlarının özel tasarlanmış raylı sistemlere bindirilmesiyle kapıdan kapıya taşımayı mümkün kılmanın yanında enerji tasarrufu ve karbon salınımlarının azaltılmasına olanak sunmaktadır. Bu tür yeni taşıma sistemleri aynı zamanda maliyet ve zaman tasarruflarına katkı sağlamaktadır [8].

Sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinde en önemli paydaşlardan bir diğeri de geliştirilen teknolojik cihaz ve yöntemlerdir. Teknolojinin desteği ile sağlanan ulaştırma faaliyetleri optimizasyon ve verimlilik ilkelerini daha etkili bir şekilde yerine getireceği için ulaştırma faaliyetlerinin sürdürülebilirliğine önemli katkılar sunacaktır. Sürdürülebilir ve akıllı ulaştırma sistemleri akıllı şehirlerin vazgeçilmez unsurları olarak görülmektedir [11]. Bu konulara ek olarak, son yıllarda geliştirilmiş olan teknolojilerden faydalanan akıllı ulaştırma sistemleri sürdürülebilir ulaşımın en önemli destekçilerinden biri olmuştur. Yeni hedeflenen ulaştırma sistemleri için simülasyon, makine öğrenimi, yapay zeka ve optimizasyon en popüler konular olmaya başlamıştır [6].

Karbon emisyonlarının artışına bağlı olarak sürdürülebilir ulaştırma sistemlerine olan ilgi ve bu sistemlerin kurulma gereksinimleri tüm dünyada öncelikli bir konu olarak karşımıza çıkarken çevre, sağlık ve ekonomik açıdan sunduğu temel faydalar aşağıda listelenmiştir [14]:

- (1) Taşıma faaliyetleri sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının yüksek oranlarda azaltılması.
- (2) Taşıma işlemlerinin daha az maliyetlerle gerçekleştirilmesi sonucu ekonomik tasarruf sağlanması.
- (3) Ulaştırmanın sürdürülebilir hale getirilmesi ile genel sürdürülebilir ekonomi yaklaşımına katkı sunulması.
- (4) Çevresel zararların ve zararlı gazların azaltılması sonucunda daha sağlıklı ve iyi bir yaşam kalitesine sahip yaşam alanları oluşturulması.
- (5) İyi planlanmış entegre taşıma sistemleri ile trafik sıkışıklığının azaltılması.
- (6) Yenilenemeyen enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltacak alternatif enerji kaynaklarına geçişin sağlanması.

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de sürdürülebilir ulaştırma sistemlerine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu ilgi artışının başlıca sebebi, ulaştırma sektörü kaynaklı karbon emisyon oranlarının sanayi sektöründen sonra ikinci sırada kirletici seviyede olmasıdır. Çevreye verilen bu zararların giderilmesi açısından en önemli çözüm yöntemi ise sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin dizayn edilmesi görülmektedir [9]. Türkiye’nin AB ile ticareti ve taşıma faaliyetlerinin devamlılığı açısından sürdürülebilir ulaştırma politikalarını uygulama zorunluluğu gün geçtikçe önemli hale gelirken, sürdürülebilir bir ulaştırma sistemi kurma amacıyla gerekli adımların gecikme yaşanmadan atılması gerekmektedir [5].

2.2. Demiryolu taşımacılığı ve sürdürülebilirlik

Demiryolu taşımacılığının tarihsel açıdan gerileme yaşaması ile birlikte yüksek yol yoğunluğu, trafik sıkışıklığı, tıkanıklık ve ulaşımdan kaynaklanan yüksek emisyonlar gibi zararlı etkiler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bunun bir sonucu olarak, son yıllarda demiryolu taşımacılığı, önemli sosyo-ekonomik ve çevresel faydaları açısından tekrar geliştirilmesi gereken bir ulaştırma alanı olarak önemini artırmıştır [19].

Ulaştırma faaliyetlerindeki sürdürülebilirlik çalışmalarında genel yaklaşım fosil yakıt kullanımının azaltılması amacıyla karayolu taşımalarının payının düşürülmesi ve demiryolu taşımalarının ise payının artırılması yönündedir [9]. Sürdürülebilir ulaşımda özellikle demiryolu taşımacılığının çevresel ve bölgesel etkinliğinin artırılması ve diğer taşıma türleri ile uluslararası düzeyde entegrasyonlarının sağlanması önemli bir gerekliliktir. Sürdürülebilir taşıma sistemlerinin kurulması sırasında demiryolu taşımacılığının avantajları olan güvenlik, yüksek taşıma kapasitesi ve çevreci olma gibi özellikleri kullanılarak daha esnek organizasyon yapılarının kurulması ulaştırma ağlarına önemli faydalar sağlayacaktır [20]. Demiryolu taşımacılığının sürdürülebilir bir ulaştırma modu olarak görülmesinin diğer önemli nedenleri ise; farklı tür enerji kaynaklarının kullanımına imkan vermesi, karbon emisyon düzeylerinin düşük olması, yüksek kapasiteli taşımalar yapabilmesi ve mekan tüketiminin azlığı olarak sıralanabilir [1]. Yıllık karbon emisyon miktarlarının ulaştırma modlarına göre dağılımı aşağıda yer alan Şekil 1’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde, yıllık karbon emisyon değerlerinin %24’ünün ulaştırma faaliyetleri kaynaklı olduğu ve bu değer %74,5’inin ise karayolu kaynaklı olduğu görülmektedir. Demiryolu taşımalarından kaynaklanan emisyon miktarının ise %1 gibi çok düşük bir değer olduğu görülmektedir [21].



Şekil 1. Ulaştırma sistemleri kaynaklı karbon emisyon oranları [21]

Demiryolu taşımacılığının iklim değişikliği, hava kirliliği, kaza ve gürültü kirliliği gibi çevresel etkileri karayolu ve diğer taşıma türlerine göre daha düşük seviyelerdedir. Demiryolu taşımalarının etkinliğinin artırılması, sürdürülebilir taşıma sistemleri açısından önem taşırken, gerek ülke ve ekonomik bölgelerin ulaştırma planları gerekse de geliştirilen yasa ve politikaların uygulamaya konulması ile mevcut taşıma sistemlerinde demiryolu merkezli dönüşümü sağlayacaktır [7,17]. Demiryolu taşımacılığı hem yük hem de yolcu hareketliliği açısından verimli bir ulaştırma şekli olmasının yanında, gelecekte çevreci ulaştırma sistemlerinin inşası ve enerji talebinin azaltılması için önemli bir alternatif çözüm olarak görülmektedir [2].

Demiryolu altyapılarına yapılan yatırımlar ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınmalarıyla yakından ilgilidir. Demiryolu sistemlerinin geliştirildiği ülkelerde ekonomik büyümedeki hareket dinamik ve kademeli olma eğilimindedir [22]. Sürdürülebilir taşımacılık yönetimi için önemli bir role sahip olan demiryolu taşımacılığına yönelik altyapı yatırımları, gelişimi ve yaygınlaştırılması güncel bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yatırımların yüksek maliyetli oluşu devlet destekli projelerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Demiryolu gelişim ve sürdürülebilirliği için kamusal sübvansiyonların yeterli ve sürekli olması gerekmektedir [23]. Teknolojik gelişmelerle birlikte kullanılmaya başlanan yüksek hızlı trenler ulaştırma sistemleri için yeni ve önemli bir alternatif olmaya başlamıştır. Raylı sistemlerde yaşanan gelişmeler, gelecek ulaştırma planlarında demiryolu taşımacılığını ön plana çıkarmaktadır [24]. Demiryolu ağ sistemlerinin daha etkin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, çevreci ekonomik sistemlerin gelişmesine katkılar sunulacaktır [25].

Demiryolu taşımacılığı tahıl, kömür, gübre, hububat, demir cevheri gibi taneli ağır yükler ile sıvı yük taşımalarında büyük avantajlar sunmaktadır. Ayrıca konteynerlerin etkin bir şekilde demiryolu taşımalarında kullanılması ile birlikte intermodal ve kombine taşıma türleri için önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır. Bu tür etkin kullanımları ile birlikte, taşımacılık sektörü içerisinde çevreyi en az kirleten ve daha az enerji tüketen demiryolu taşımacılığına ağırlık verilmesi beklenmektedir [8].

Yaşanan covid-19 salgını ile birlikte Avrupa ulaştırma sektörü üzerine bir yük oluştuğu bilinmektedir. Bu durum, demiryolu sektörünün rekabet gücünü artırma ve Avrupa yük ve insan hareketliliğinin omurgası olma vizyonuna yönelik bir fırsat olarak düşünülmektedir. Çevresel olarak sürdürülebilir olmayan ulaşım modlarından çevre dostu ulaşım modlarına geçişi aktif olarak teşvik ederek, çevre koruma ve hareketlilik gerekliliğini aynı anda korumak hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple demiryolu taşımacılığı, ulaşım için fosil yakıtların yoğun kullanımından uzaklaşmayı ve yeniden toparlanma süreci ile birlikte tekrar önemli artan bir ulaştırma modu olarak yeni politikaların gerçekleştirilmesine destek sağlayabilir [26].

3. Literatür Taraması

Sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ve demiryolu taşımacılığının bu sistemler açısından önemini ortaya koyacak çalışmalar hedeflenerek literatür araştırması yapılmış ve bu bilimsel araştırmanın literatürde kapsayacağı yer belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak belirlenen anahtar kelimeler web of science, google scholar, dergipark ve researchgate veri tabanlarında taranarak ilgili bilimsel çalışmalara ulaşılmıştır. Devamında elde edilen çalışmalar arşivlenerek araştırmanın kavramsal çerçevesi ve literatür araştırması kısımlarında kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmasına göre Bouraima vd. [19] çalışmalarında çok kriterli karar verme tekniklerini kullanarak, sürdürülebilir ulaştırma sistemleri için alternatif demiryolu sistemlerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Araştırma sonucunda demiryolu tabanlı ulaştırma sistemlerine ait kritik aşamaları sıralayarak, en kritik zorluğun bilgi sistemleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Moslem [27] çalışmasında, Bulanık Analitik Hiyerarşi sürecini kullanarak, sürdürülebilir kentsel ulaşım sürecine katkı sunan toplu taşıma sistemini iyileştirmek için sürdürülebilir ve verimli çözümler sunmuşlardır. Zhao vd. [28] çalışmalarında 2000-2019 yılları arasında sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ile ilgili yapılmış bilimsel araştırmaları inceleyerek gelecekte yapılacak çalışmalara yön verecek araştırma konuları belirlemişlerdir. Bunlar sürdürülebilir ulaştırma göstergeleri için performans modeli, sürdürülebilir ulaştırma politikası, paydaşların katılımı, tedarik zinciri ve lojistik yönetimi, çevresel etki, seyahat davranışı, araçlar için yeni yakıtlar, ulaştırma stratejik planlaması ile bisiklet ve toplu taşıma konularıdır. Ahsan vd. [29] çalışmalarında net sıfır emisyon miktarlarına ulaşma amacına yönelik çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik perspektiflere dayanan demiryolu teknolojileri ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Araştırma sonucunda, gelecekte kullanılacak alternatif enerji kaynakları ile çalışan lokomotif tiplerine geçiş ve genel demiryolu sistemlerinin performans ve güvenliğini

artıracak teknik engellerin aşılması gerekliliği vurgulanmıştır. Ezsias vd. [30] yapmış oldukları çalışmalarında uygun fiyatlı ve temiz enerji, inovasyon, altyapı, sorumlu tüketim ve üretim, demiryolu ve sürdürülebilirlik konularını incelemişlerdir. Araştırma sonucunda yük ve yolcu taşımacılığında, demiryolu taşımacılığının tercih edilmesi ile enerji tasarrufu ve CO₂ emisyonları açısından diğer ulaşım modlarına göre 2 ila 10 kata kadar daha yüksek fayda sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Ekici ve Ferşadoğlu [23] demiryolu taşımacılığının diğer modlarla karşılaştırılması ve sağladığı avantajlar üzerine yapmış oldukları çalışmalarında yatırım maliyetleri, çevreye verilen zarar, emisyon, enerji tüketimi, ulaşım güvenliği gibi nedenlerle demiryolu ulaştırma sistemlerine öncelik verilmesi ve ulaştırma altyapısının yenilenmesine yönelik yatırım çalışmalarının devam ettirilmesi sonucuna varmışlardır. Milewicz vd. [31] yapmış oldukları çalışmalarında, dünyada iklim değişikliğini azaltma ile sürdürülebilir ulaşım modlarına geçiş konularına duyulan acil ihtiyaç ve demiryolu taşımacılığının bu konulardaki önemli rolüne değinmişlerdir. Araştırma sonucunda temel stratejileri, teknolojileri ve politika çerçevelerini inceleyerek, dünya çapındaki demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlikle ilgili zorluklara ve fırsatlara ışık tutmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ile ilgili paylaşımlı mobilite, ulaşım araçlarında elektrik enerjisine geçiş, akıllı mobilite ve mikro ulaşım araçlarına geçiş konuları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Belirlenen kriterler doğrultusunda yapılan literatür taraması sonuçları değerlendirildiğinde, sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ve demiryolu taşımacılığının sürdürülebilir ulaşım katkılarını konularında sınırlı sayıda çalışma bulunması ve belirlenmiş olan birçok değişken açısından iki konu arasındaki ilişkinin incelenmiş olması bu çalışmanın özgün yönünü ortaya koymaktadır. Bu sebeple yapılan bu araştırmanın literatürde bulunan bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

4. Yöntem

Sürdürülebilir taşıma faaliyetlerinin önem kazandığı bu günlerde, çevreci bir taşıma modu olan demiryolu taşımacılığının yeniden artan önemine vurgu yapmak ve sürdürülebilirlik, sera gazı emisyon değerleri, altyapı yatırımları ve demiryolu yük-yolcu taşımaları verilerini kullanarak kapsamlı bir değerlendirme yapmak amacıyla bu bilimsel araştırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada nicel araştırma deseni kullanılmıştır. Araştırmanın verilerini 37 ülkeye ait 2000-2021 yılları arasındaki Sürdürülebilir Kalkınma Raporu verileri, Demiryolu Yatırım verileri, Demiryolu Yük Taşımacılığı verileri, Demiryolu Yolcu Taşımacılığı verileri ve Sera Gazı Emisyon Miktarları verileri oluşturmaktadır. Ülke sayısı, 2000-2021 yılları arasında ulaşılabilecek maksimum sayıda veriye göre belirlenmiştir. Bu ülkeler Almanya, Amerika B.D., Avustralya, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Bulgaristan, Çekya, Çin, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hırvatistan, Hollanda, İrlanda, İzlanda, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Kanada, Kore C., Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Meksika, Norveç, Polonya, Portekiz, Rusya, Slovak C., Slovenya, Türkiye, Yeni Zelanda, ve Yunanistan'dır. Verilere ait kaynak, birim ve referans bilgileri aşağıdaki Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan veri setleri

No	Veri Setinin Adı	Kapsam Yılı	Ülke Sayısı	Kaynak
1	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi	2000-2021	37	Sachs vd. [32]
2	Demiryolu Yatırım Oranları (Yatırım/GDP)	2000-2021	37	OECD İstatistikleri [33]
3	Demiryolu Yük Taşımacılığı (MilyonTon/Km)	2000-2021	37	OECD İstatistikleri [33]
4	Demiryolu Yolcu Taşımacılığı (MilyonKişi/Km)	2000-2021	37	OECD İstatistikleri [33]

5	Sera Gazı Emisyon Miktarları (Kişi başına ton)	2000-2021	37	OECD İstatistikleri [33]
---	---	-----------	----	-----------------------------

Sürdürülebilir kalkınma hedefleri Birleşmiş Milletler tarafından sürdürülebilir kalkınma için belirlenen hedefler bütünüdür. Birleşmiş Milletler İstatistik Komisyonu'nun yetki alanındaki 231 göstergeden oluşan bir set kullanılarak, üye ülkelerden sağlanan bilgiler veri tabanında tematik olarak düzenlenerek hesaplanmaktadır. Demiryolu yatırım oranları ülkelerin yıllık yatırım miktarlarının yıllık gayri safi yurtiçi hasıla miktarlarına oranı ile hesaplanarak elde edilmiş değerlerden oluşmaktadır. Demiryolu yük ve yolcu taşıma miktarları ise yıllık kilometre başına kişi ve kilometre başına ton olarak alınmıştır. Sera gazı emisyon miktarları ise kişi başına ton olarak alınmıştır. 37 ülkenin 2000-2021 yılları arasındaki beş değişkene ait veriler öncelikle tasnif edilmiş ve veriler tanımlayıcı istatistiksel yöntemler kullanılarak özet tablolar oluşturulmuştur. Özet tabloların yorumlanması ve değişkenler arasındaki ilişki ve farklılıkların belirlenmesi amacıyla hipotez testleri yapılmıştır. Veri setleri elde edilmiş değişkenler için yapılacak hipotez testi analiz yöntemlerini belirlemek amacıyla tüm verilere ön testler yapılmıştır. Verilerin çarpıklık ve basıklık katsayılarının +1,5 ile -1,5 aralığında olması, verilerin normale yakın bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir [16]. Elde edilen analizler sonucunda araştırmada kullanılan tüm veri setlerine ait çarpıklık ve basıklık katsayılarının +1,0 ile -1,0 arasında olduğu tespit edilmiştir. Aşağıda yer alan Tablo 2 veri setlerine ait çarpıklık ve basıklık katsayılarını göstermektedir.

Tablo 2. Veri setlerine ait çarpıklık ve basıklık katsayıları

Değişken	İstatistik	Std. Hata
Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi	Çarpıklık (Skewness)	-0,939
	Basıklık (Kurtosis)	0,987
Demiryolu Altyapı Yatırım Oranları	Çarpıklık (Skewness)	-0,599
	Basıklık (Kurtosis)	0,160
Demiryolu Yük Taşıma Miktarları	Çarpıklık (Skewness)	0,540
	Basıklık (Kurtosis)	0,754
Demiryolu Yolcu Taşıma Miktarları	Çarpıklık (Skewness)	0,242
	Basıklık (Kurtosis)	-0,425
Sera Gazı Emisyon Miktarları	Çarpıklık (Skewness)	0,188
	Basıklık (Kurtosis)	-0,469

Veri setlerinin normale yakın bir dağılım göstermesi ve katsayıların belirlenen aralıklarda olması sebebiyle, hipotez testleri yapılırken parametrik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla Pearson Korelasyon Analizi yapılmıştır. Değişkenlere ait yapılan fark testleri için Bağımsız İki Örneklem T Testi yapılmıştır. Fark testleri yapılırken ülkelere ait veriler 2000-2010 yılları ile 2011-2021 yılları arasında kapsayacak şekilde iki gruba ayrılmış ve iki grup arasındaki farklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Gruplar arası farkların tespiti için kurulan hipotezler aşağıdaki yer almaktadır:

H1: Demiryolu altyapı yatırım oranlarının 2000-2010 yılları ile 2011-2021 yılları arasındaki ortalamaları birbirinden farklılaşmaktadır.

H2: Demiryolu yük taşıma miktarlarının 2000-2010 yılları ile 2011-2021 yılları arasındaki ortalamaları birbirinden farklılaşmaktadır.

H3: Demiryolu yolcu taşıma miktarlarının 2000-2010 yılları ile 2011-2021 yılları arasındaki ortalamaları birbirinden farklılaşmaktadır.

H4: Sera gazı emisyon miktarlarının 2000-2010 yılları ile 2011-2021 yılları arasındaki ortalamaları birbirinden farklılaşmaktadır.

Araştırmaya ilişkin tüm analizler SPSS 26 istatistiksel analiz programı kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler bulgular kısmında sunulmuştur.

5. Bulgular

Belirlenmiş ülkelerin Demiryolu taşımacılığı açısından 2000-2021 yılları arasındaki verileri tasnif edilerek Tablo 3 hazırlanmıştır. Tabloda demiryolu yatırım oranları ile yük ve yolcu taşımacılığı verileri özetlenerek yıllara göre yüzdeler artışları hesaplanmıştır.

Tablo 3. Demiryolu yatırım oranları, yük ve yolcu taşıma miktarları özet tablosu

Yıllar	Altyapı Yatırım Oranı (Binde)	Yüzde Değişim	Demiryolu Yük Taşıma Miktarları	Yüzde Değişim	Demiryolu Yolcu Taşıma Miktarları	Yüzde Değişim
2000	2,78	-	5.801.402	-	1.482.018	-
2001	2,71	-2	5.988.647	3	1.508.960	2
2002	3,03	9	6.192.645	7	1.505.467	2
2003	3,17	14	6.607.167	14	1.489.744	1
2004	3,04	9	7.157.684	23	1.582.831	7
2005	2,80	1	7.435.099	28	1.655.934	12
2006	2,65	-4	7.814.863	35	1.736.660	17
2007	2,83	2	8.175.894	41	1.808.893	22
2008	3,23	16	8.339.501	44	1.919.362	30
2009	3,45	24	7.637.328	32	1.889.215	27
2010	3,50	26	8.353.963	44	1.883.987	27
2011	3,37	21	8.755.525	51	2.035.306	37
2012	3,17	14	8.834.552	52	2.082.025	40
2013	3,21	16	8.871.230	53	2.158.134	46
2014	3,59	29	9.078.191	56	2.238.582	51
2015	3,67	32	8.591.322	48	2.274.916	54
2016	2,74	-1	8.408.333	45	2.361.201	59
2017	2,65	-5	9.059.757	56	2.488.626	68
2018	2,70	-3	9.476.410	63	2.609.722	76
2019	2,81	1	9.437.645	63	2.713.099	83
2020	3,18	15	8.982.450	55	1.071.397	-28
2021	3,11	12	9.230.473	59	1.971.081	33

37 ülkeye ait demiryolu altyapı yatırım oranları, yük taşıma miktarları ve yolcu taşıma miktarlarının yıllara göre toplam verileri incelendiğinde yatırım oranlarında yıllara göre genel bir artış veya azalış eğiliminin olmadığı, ancak yük ve yolcu taşımacılığında artış eğiliminin olduğu görülmektedir. Yük ve yolcu taşıma miktarları incelendiğinde 2000 yılı itibarıyla her iki değişkenin de sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülürken sadece yolcu taşımalarında covid-19 pandemisi döneminde seyahat kısıtlamaları sebebiyle 2020 yılında önemli bir düşüş yaşanmıştır. Tablo 3'teki veriler genel olarak demiryolu taşımacılığına yönelik bir talep artışını göstermektedir. Bu talep artışının anlamlı olup olmadığı ise yapılacak hipotez testleri ile belirlenecektir. Demiryolu yatırım, yük ve yolcu taşımaları ile ülkelerin emisyon miktarları değişkenlerinin 2011 yılı öncesi ve sonrasına ait değerleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığının incelenmesi amacıyla kurulmuş olan hipotezler test edilerek Tablo 4'te yer alan analiz sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 4. Kurulan hipotezlere ait bağımsız iki örneklem t testi sonuçları

Değişkenler	Gruplar	Ortalama	Std. Sapma	T İstatistiği	P Değeri
Demiryolu Altyapı Yatırım Oranları	2000-2010	0,3017	0,0292	-0,660	0,517
	2011-2021	0,3108	0,0351		
Demiryolu Yük Taşıma Miktarları	2000-2010	195.341	25.625	-5,793	0,000
	2011-2021	243.199	9.693		
Demiryolu Yolcu Taşıma Miktarları	2000-2010	45.363	4.740	-3,545	0,002

	2011-2021	58.978	11.821		
Sera Gazı Emisyon Miktarları	2000-2010	8.686	266	6,934	0,000
	2011-2021	7.438	534		

Tablo 4 incelendiğinde Yatırım oranları değişkenine ait t istatistiğinin -0,660 ve anlamlılık değerinin 0,517 ($p>0,05$) olduğu görülmektedir. Buna göre demiryolu alt yapı yatırım oranlarına ait ortalamaların, 2011 yılı öncesi ve sonrası farklılaşmadığı görülmekte ve H1 hipotezi reddedilmektedir. Demiryolu alt yapı yatırım ortalamalarının 2011 yılı sonrasında daha yüksek olduğu tespit edilmiş olsa da bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Demiryolu altyapı yatırımlarının yüksek sabit maliyetlere sahip olması ve genellikle kamu yatırımları ile finanse edilmesi gibi sebepler yatırım oranlarının kamu sübvansiyonlarına bağlı olmasını zorunlu kılmaktadır. Ülkelerin yatırım bütçelerinin birçok alan için kullanılması ve bu yatırımlardan demiryolu taşımalarına ayrılan payın sürekli değişkenlik göstermesi nedenleri anlamlı bir fark oluşmamasını etkilemektedir. Demiryolu yük taşıma değişkenine ait t istatistiğinin -5,793 ve anlamlılık değerinin 0,000 ($p<0,01$) olduğu görülmektedir. Elde edilen bu değerlere göre H2 hipotezi kabul edilerek, demiryolu taşımacılığında taşınan yük miktarlarının 2011 yılı öncesi ve sonrası arasında anlamlı bir fark olduğu kabul edilmektedir. Yük taşıma verilerinin ortalamaları incelendiğinde 2011 yılı sonrası taşıma miktarlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Demiryolu yolcu taşıma değişkenine ait t istatistiği -3,545 ve anlamlılık değerinin 0,002 ($p<0,05$) olduğu görülmektedir. Elde edilen bu değerler H3 hipotezinin kabul edildiğini göstermektedir. Demiryolu ile yapılan yolcu taşıma verilerine ait ortalamalarda, 2011 yılı sonrasına ait değer önceki yılların ortalamasından yüksek olduğu ve ortalamalar arasındaki farkın anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca ülkelerin sera gazı emisyonlarının farklarını test etmek için geliştirilen H4 hipotezine ait analiz sonuçlarında ise t istatistiği 6,934 ve anlamlılık düzeyinin 0,000 ($p<0,001$) olduğu görülmektedir. Buna göre, sera gazı emisyonlarının 2011 yılı öncesi ve sonrası değerleri arasında beklendiği üzere düşüş yaşandığı görülmektedir. 2011 yılı sonrası ortalamaların önceki yıllardan daha düşük olduğu ve bu farkın anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ve demiryolu taşımacılığı arasındaki ilişkinin incelenmek istendiği bu çalışmada, belirlenmiş olan araştırma değişkenleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla Pearson Korelasyon Analizi yapılarak aşağıda yer alan Tablo 5 elde edilmiştir.

Tablo 5. Değişkenler arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon analizi sonuçları

Değişkenler	N	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (1)	814	r	1				
		p	-				
Demiryolu Altyapı Yatırım Oranları (2)	814	r	,056	1			
		p	,113	-			
Demiryolu Yük Taşıma Miktarları (3)	814	r	,431**	,404**	1		
		p	,000	,003	-		
Demiryolu Yolcu Taşıma Miktarları (4)	814	r	,046	,584**	,647**	1	
		p	,189	,000	,000	-	
Sera Gazı Emisyon Miktarları (5)	814	r	-,414**	-,375*	,356**	,159**	1
		p	,001	,032	,000	,000	-

Tablo 5'te yer alan analiz sonuçları incelendiğinde ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedefi verileri ile sera gazı emisyon verileri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla yapılan analiz sonucu r değeri (korelasyon değeri) -0,414 ve anlamlılık değeri 0,001 ($p<0,05$) olduğu görülmektedir. Buna göre, ülkelerin sürdürülebilirlik hedefleri ile sera gazı emisyon değerleri arasında negatif yönde anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Ek olarak ülkelerin

sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile demiryolu yük taşıma miktarları arasındaki ilişkiye ait analizlerden elde edilen değerlerin, r değeri 0,431 ve p anlamlılık değerinin 0,000 ($p < 0,001$) olduğu tespit edilmiştir. Buna göre kalkınma hedeflerine paralel olarak demiryolu yük taşıma miktarlarının artış gösterdiği söylenmelidir. Yine yapılan analizlerde demiryolu yatırım oranları ile sera gazı emisyon verileri, demiryolu yük taşımacılığı ve demiryolu yolcu taşımacılığı verileri arasında anlamlı ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. Demiryolu yatırım oranları ve sera gazı emisyon değerlerinin korelasyonu incelendiğinde r değeri -0,375 ve p anlamlılık değeri 0,032 ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Buna göre demiryolu yatırım oranlarının artması ile sera gazı emisyon değerlerinin düştüğü, iki değişken arasında negatif yönlü ve anlamlı bir ilişkinin olduğu söylenmelidir. Yatırım oranları ve yük taşıma miktarlarına ait değerlerin $r = 0,404$ ve $p = 0,003$ ($p < 0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Buna göre yatırım oranları ile demiryolunda yapılan yük taşıma faaliyetleri arasında anlamlı ve olumlu bir ilişki olduğu söylenmelidir. Son olarak yatırım oranları ve yolcu taşıma miktarları arasındaki korelasyon ilişkisine ait değerler, $r = 0,584$ ve $p = 0,000$ ($p < 0,001$) olduğu görülmektedir. Buna göre demiryolu yatırım oranlarının artışına paralel olarak, demiryolu taşımacılığındaki taşınan yolcu sayılarında artış yaşandığı görülmektedir.

6. Sonuç

Son yıllarda kentsel yaşamdaki ilerlemeler, karayolu-havayolu araç ve terminallerinin kullanımına bağlı artan trafik sıklığı, yaşanan aşırı sıklık, hava ve gürültü kirliliğinde yaşanan artışlar, yaşanan çevre sorunları ve enerji krizleri çevre dostu bir ulaştırma modu olan demiryolu taşımacılığının yeniden en önemli alternatife dönüşmesine neden olmuştur. Demiryolu taşımacılığının farklı türlerdeki enerji kaynaklarının kullanımına müsait olması, sera gazı emisyon oranlarının aşırı düşük olması, yüksek kapasiteli taşımalar yapabilmesi ve teknolojik gelişmelerle birlikte hız, esneklik gibi dezavantajların ortadan kalkmasına bağlı olarak bu taşıma modu, sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin önemli bir aktörü haline gelmektedir. Bu sayılan önemli nedenlerden dolayı, sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ile ilgili gerçekleştirilecek değişim ve dönüşüm faaliyetlerinin ana omurgasını demiryolu taşıma sistemlerinin oluşturacağı düşünülmektedir.

Demiryolu taşımalarının sürdürülebilir ulaştırma sistemlerindeki yerine vurgu yapmak amacıyla taşıyan bu araştırmadaki analizler neticesinde önemli sonuçlar elde edilmiştir. Demiryolu yük ve yolcu taşımalarına ait miktarların 2000 yılı itibarıyla sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Yapılan hipotez testi sonuçlarına göre hem yük hem de yolcu taşımalarında yaşanan artışların istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bu artış demiryolu taşımalarına olan talebin sürekli bir artış eğiliminde olduğu anlamına gelmektedir. Yine yapılan hipotez testi sonuçlarına göre, demiryolu yatırım oranlarının 2011 yılı öncesine göre anlamlı bir şekilde farklılaşmadığı tespit edilmiştir. Bu durum geliştirilmesi gereken çevreci ulaştırma sistemleri kurma amacının tersi bir gösterge olarak görülmektedir. Ülkelerin sürdürülebilirlik yaklaşımına uygun olarak ulaştırma yatırımları içerisinde demiryolunun payını artırmaları ve demiryolu için kamu sübvansiyonlarını artırmaları gerekmektedir. Ülkelerin sera gazı emisyon değerlerinin 2011 yılı öncesi ve sonrası arasındaki farkı gösteren analiz sonucu ise ülkelerin sera gazı emisyonlarını düşürme eğiliminde olduğunu göstermektedir. 2011 sonrası emisyon değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düştüğü söylenmelidir. Yine araştırma bulguları ışığında Ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile sera gazı emisyon miktarları arasında negatif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Ek olarak demiryolu yatırım oranları ile sera gazı emisyon miktarları arasında tespit edilen negatif yönlü anlamlı ilişki demiryolu taşımacılığının sürdürülebilir ulaştırma sistemleri için önemli bir göstergedir.

Ulaştırma sistemlerinde sürdürülebilirlik yaklaşımı ve demiryolu taşımacılığının bu dönüşümde üstleneceği önemli rol daha önce yapılmış ilgili araştırmaların sonuçları ve bu araştırmada

kullanılan veri setlerine ait analiz sonuçları ile açıklanmaya çalışılmıştır. Sürdürülebilir ulaştırma sistemleri ile ilgili yapılan bilimsel araştırmaların çoğunda demiryolu taşımacılığının gerekliliği öne çıkmaktadır. Bu sebeple demiryolu taşımacılığının gelecek yıllarda daha etkin ulaştırma sistemlerine dâhil edilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Dünyada ve Türkiye’de demiryolu taşımacılığının sürdürülebilir ulaştırma sistemlerine entegrasyonu için belirtilen öneriler doğrultusunda gerekli adımlar atılmalıdır. Bu öneriler, demiryolu altyapı ve teknolojik gereksinimlerini karşılayacak sistemlerin kurulması için finansman sağlanması gerekmektedir. Demiryolu taşımacılığında yatırım ve operasyon faaliyetlerini düzenleyici birimlerin kamu ve özel sektör paydaşlığı ile kurulması. Demiryolu hizmetlerine erişim imkanı sunacak ve diğer taşıma modları ile entegrasyon sağlayacak fiziksel erişim imkanlarının artırılması. Dijital sistemler yardımı ile hizmetlerden faydalanacak kişilerin erişimini kolaylaştıracak hizmet sunumu ve izlenebilirlik imkânlarının sunulması. Uluslararası demiryolu bağlantılarına kolay entegrasyon sağlayacak mevzuat ve teknoloji konularının güncel olarak takip edilmesi ve uygulamalarının sağlanmasıdır.

Kaynakça

- [1] M. F. Altan, M. Ç. Kızıldaş, and Y. Ayözen, “Demiryollarında gelişme eğilimleri, yüksek hızlı demiryollarının küresel mevcut durumu ve ülkemiz için bir derleme,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 11, no. 3, pp.1261-1268, 2020.
- [2] M. Brenna, V. Bucci, M. C. Falvo, F. Foiadelli, A. Ruvio, G. Sulligoi, and A. Vicenzutti, “A review on energy efficiency in three transportation sectors: railways, electrical vehicles and marine,” *Energies*, vol. 13, no. 9, 2020.
- [3] M. T. Sohail, S. Ullah, M. T. Majeed, and A. Usman, “Pakistan management of green transportation and environmental pollution: a nonlinear ARDL analysis,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 29046-29055, 2021.
- [4] M. Ogrzyzek, D. Adamska-Kmicic, and A. Klimach, “Sustainable transport: an efficient transportation network case study,” *Sustainability*, vol. 12, no. 19, 2020, 8274.
- [5] G. Koyuncu, “Avrupa Birliği ortak ulaştırma politikasının lojistik sektörü üzerindeki etkisi: Türkiye örneği,” *Ahi Evran Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 6, no. 2, pp.263-278, 2022.
- [6] R. Torre, C. G. Corlu, J. Faulin, B. S. Onggo, and A. A. Juan, “Simulation, optimization, and machine learning in sustainable transportation systems: models and applications,” *Sustainability*, vol. 13, no. 3, 2021, 1551.
- [7] M. Tamannaeei, H. Zarei, and M. Rasti-Barzoki, “A game theoretic approach to sustainable freight transportation: competition between road and intermodal road–rail systems with government intervention,” *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 153, pp. 272-295, 2021.
- [8] H. Çetinoğlu, and L. Dalyancı, “Cumhuriyetin 100. yılında Türkiye’de demiryolu ulaşımı,” *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 42-53, 2021.
- [9] D. Demirtürk, “Sürdürülebilir ulaşımda sera gazı etkisini azaltmaya yönelik çalışmalar,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 9 no. 4, pp. 1080-1092, 2021.
- [10] H. Keskin, *Lojistik el kitabı*. Ankara: Gazi Kitabevi, 2011.
- [11] K. J. Shah, S. Y. Pan, I. Lee, H. Kim, Z. You, J. M. Zheng, and P. C. Chiang, “Green transportation for sustainability: review of current barriers, strategies, and innovative technologies,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 326, 2021, 129392.
- [12] C. Chirieleison, A. Montrone, and L. Scrucca, “Event sustainability and sustainable transportation: a positive reciprocal influence,” *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 28 no. 2, pp. 240-262, 2020.
- [13] H. Aydemir, “Yapay zekâ sistemleriyle Türkiye demiryollarının enerji analizi ve sürdürülebilir ulaşım planlaması stratejileri ile ulaşımda enerji verimliliği,” Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [14] M. M. Abdel Wahed Ahmed, N. Abd El Monem, “Sustainable and green transportation for better quality of life case study greater Cairo–Egypt,” *Hbrc Journal*, vol. 16 no. 1, pp. 17-37, 2020.
- [15] P. Singh, Z. Elmi, V. K. Meriga, J. Pasha, and M. A. Dulebenets, “Internet of things for sustainable railway transportation: past, present, and future,” *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 4, 2022, 100065.

- [16] B. G. Tabachnick, and L. S. Fidell, *Using multivariate statistics: international edition*. Boston: Pearson, 2013.
- [17] S. Erdogan, F. F. Adedoyin, F. V. Bekun, and S. A. Sarkodie, "Testing the transport-induced environmental Kuznets curve hypothesis: the role of air and railway transport," *Journal of Air Transport Management*, vol. 89, 2020, 101935.
- [18] F. Chen, X. Shen, Z. Wang, and Y. Yang, "An evaluation of the low-carbon effects of urban rail based on mode shifts," *Sustainability*, vol. 9 no.3, pp. 401-422, 2017.
- [19] M. B. Bouraima, Y. Qiu, Z. Stević, and V. Simić, "Assessment of alternative railway systems for sustainable transportation using an integrated IRN SWARA and IRN CoCoSo model," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 86, 2023, 101475.
- [20] C. N. Pyrgidis, *Railway transportation systems: design, construction and operation*. Florida: CRC press, 2021.
- [21] H. Ritchie, "Cars, planes, trains: where do CO₂ emissions from transport come from?" 2020. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>. [Accessed: 20-Sep-2024].
- [22] X. Sun, S. Yan, T. Liu, and J. Wu, "High-speed rail development and urban environmental efficiency in China: a city-level examination," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 86, 2020, 102456.
- [23] Ü. Ekici, and T. Feriçadođlu, "Demiryolu taşımacılığının diğer taşımacılık modlarıyla karşılaştırılması ve sağladığı avantajlar," *Demiryolu Mühendisliği*, vol. 19, pp.121-132, 2024.
- [24] E. Kuşkan, M. K. Çodur, and M. Y. Çodur, "Türkiye'deki demiryolu enerji tüketiminin yapay sınırları ile tahmin edilmesi," *Konya Journal of Engineering Sciences*, vol.10, no:1, pp. 72-84, 2022.
- [25] W. T. Hong, G. Clifton, and J. D. Nelson, "Rail transport system vulnerability analysis and policy implementation: past progress and future directions," *Transport Policy*, vol. 128, pp. 299-308, 2022.
- [26] A. Tardivo, A. Carrillo Zanuy, and C. Sánchez Martín, "Covid-19 impact on transport: a paper from the railways' systems research perspective," *Transportation research record*, vol. 2675, no. 5, pp. 367-378, 2021.
- [27] S. Moslem, "A novel parsimonious spherical fuzzy analytic hierarchy process for sustainable urban transport solutions," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 128, 2024, 107447.
- [28] X. Zhao, Y. Ke, J. Zuo, W. Xiong, and P. Wu, "Evaluation of sustainable transport research in 2000–2019," *Journal of cleaner production*, vol. 256, 2020, 120404.
- [29] N. Ahsan, K. Hewage, F. Razi, S. A. Hussain, and R. Sadiq, "A critical review of sustainable rail technologies based on environmental, economic, social, and technical perspectives to achieve net zero emissions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 185, 2023, 113621.
- [30] L. Ezsias, A. Brautigam, S. K. Szurke, S. Szalai, and S. Fischer, "Sustainability in railways—a review," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 107, pp. 7-12, 2023.
- [31] J. Milewicz, D. Mokrzan, and G. M. Szymański, "Environmental impact evaluation as a key element in ensuring sustainable development of rail transport," *Sustainability*, vol. 15 no. 18, 2023, 13754.
- [32] J. D. Sachs, G. Lafortune, and G. Fuller, *The SDGs and the UN Summit of the Future. Sustainable Development Report 2024*. Paris: SDSN, Dublin, 2024.
- [33] OECD, "The International Transport Forum", 2024. [Online]. Available: <https://www.oecd.org/en/topics/transport.html>. [Accessed: 10-Sep-2024].

Özgeçmiş



Ömer CENGİZ

1984 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinde tamamlamıştır. 2011 yılında itibaren Kafkas Üniversitesinde çalışmaktadır. İlgi alanına giren çalışma konuları; Lojistik, Tedarik Zinciri Yönetimi ve Ulaştırma Sistemleridir. E-Posta: omercengiz99@gmail.com

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayım etiğine uyulmuştur.