

## Karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi: Karşılaştırmalı bir analiz

### Measuring sustainability performance in road transport: A comparative analysis

Gül Senir<sup>1</sup> 

Arzum Büyükkelik<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Niğde, Türkiye, [gul.senir@ohu.edu.tr](mailto:gul.senir@ohu.edu.tr)

ORCID: 0000-0001-5454-2321

<sup>2</sup> Doç. Dr., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Niğde, Türkiye, [abuyukkeklik@ohu.edu.tr](mailto:abuyukkeklik@ohu.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-0077-8686

#### Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Gül Senir,

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi,  
Niğde, Türkiye, [gul.senir@ohu.edu.tr](mailto:gul.senir@ohu.edu.tr)

**Başvuru/Submitted:** 23/10/2022

**Revizyon/ Revised:** 8/12/2022

**Kabul/Accepted:** 29/12/2022

**Yayın/Online Published:** 25/03/2023

#### Öz

Karayolu ulaşımı dünya çapında insan ve yük taşımacılığının bel kemiği olduğundan yüksek kullanım hacmine sahiptir. Bu kullanım da özellikle sera gazı emisyonları ve hava kirliliği açısından önemli çevresel etkilere neden olmakta, sürdürülebilirliği olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı seçilen OECD ülkelerinde mevcut karayolu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmek ve karşılaştırma yapmaktır. Çalışmada çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden ENTROPİ kullanılarak kriterlerin önem düzeyleri belirlenmiş ve sonrasında WASPAS yöntemi ile ülkelerin karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik sıralaması yapılmıştır. OECD ülkelerinin karayolu taşımacılığında sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde kullanılan veri; Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu Taşımacılık istatistikleri, Dünya Bankası istatistikleri ve Avrupa istatistiklerinin sunulduğu web adreslerinden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda önem düzeylerine göre kriterlerin sıralaması CO2 emisyonları, yakıt tüketimi ve yol kazaları şeklinde olmuş; ülkelerin sıralanmasında karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansında yüksek puan alan ilk üç ülke İzlanda, Türkiye ve Litvanya olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Karayolu Taşımacılığı, Sürdürülebilirlik, ENTROPİ, WASPAS

**Jel Kodları:** L91, Q56, C44

#### Abstract

Road transport is the backbone of human and freight transport worldwide and is highly used. However, this use also causes significant environmental effects, especially greenhouse gas emissions and air pollution, and negatively affects sustainability. This study aims to evaluate and compare the sustainability performances of existing road transport systems in selected OECD countries. First, the study determined the criteria' importance levels using ENTROPY, one of the multi-criteria decision-making (MCDM) methods. Then the sustainability ranking of the countries in road transport was made with the WASPAS method. Finally, data used in evaluating sustainability in road transport of OECD countries, United Nations Economic Commission for Europe Transport statistics, World Bank statistics and European statistics were obtained from the web addresses. In line with the results obtained, the order of the criteria according to their importance levels was CO2 emissions, fuel consumption and road accidents; Iceland, Turkey and Lithuania were the first three countries with high scores in sustainability performance in road transport.

**Keywords:** Road Transport, Sustainability, ENTROPY, WASPAS

**Jel Codes:** L91, Q56, C44

**Atf/Citation:** Senir, G., & Büyükkelik, A., Karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi: Karşılaştırmalı bir analiz, bmij (2023) 11 (1): 10-30, doi: <https://doi.org/10.15295/bmij.v11i1.2147>

## Extended Abstract

### Measuring sustainability performance in road transport: A comparative analysis

#### Literature

Commercial activities increased by globalization, industrialization and technological advances, and transportation activities caused by human mobility greatly contribute to the development of societies but also cause carbon emissions that threaten the world ecosystem (Dündar and Kolay, 2021: 317). According to 2022 data, the transportation sector ranks second after energy production in distributing carbon dioxide emissions from fuel combustion worldwide (International Energy Agency, 2022).

Since the beginning of the 1990s, when sustainable development was determined as a global priority, transportation has been accepted as one of the dominant sectors that negatively affect the environment and quality of life (Bojković, Macura and Pejčić-Tarle, 2011: 319). Road transport in its current form for almost every country in the world leads to declining oil reserves, global atmospheric effects, local air quality effects, traffic congestion, noise and biological effects (animals killed on highways and trees cut down for the construction of highways, etc.). It is far from sustainable with its image that harms its being met with equality (Black, 2010: 5-10). Therefore, researchers, practitioners and state authorities strive for a sustainable transportation system in this context.

This study aims to evaluate and compare the sustainability performances of existing road transport systems in selected OECD countries. Since the multidimensional nature of sustainability makes it suitable for using methods that can evaluate many criteria together for sustainability evaluations (Bojković et al., 2011), MCDM methods were used in the study. First, the importance levels of the criteria were determined using ENTROPY, and then the sustainability ranking of countries in road transport was made with WASPAS. Although studies use different MCDM methods in the literature on road transport sustainability assessment, this is the first article to combine ENTROPY and WASPAS methodology. On the other hand, it is expected to contribute to the literature with the study since no study has been found in the Turkish literature on the sustainability ranking of road transport using MCDM methods.

#### Material and method

The data of the study belongs to the year 2019; United Nations Economic Commission for Europe Transport statistics (UNECE, Transport Statistics Database), World Bank (Worldbank Database) statistics and European statistics (Eurostat, European Statistics) were obtained from the web addresses. It was desired to use data from more recent years, but due to the lack of data for different indicators of countries, it was determined that the most appropriate data set belonged to 2019.

MCDM techniques were used in the study. In evaluating and comparing the sustainability performances of the existing road transportation systems in selected OECD countries, the ENTROPY method first determined the importance levels of the criteria. Then the countries were ranked with the WASPAS method. Since sustainability is expressed in three dimensions economic, social and environmental. In this study, in evaluating the sustainability performance of OECD countries in road transport, the indicators accepted in the literature regarding these three dimensions were determined as decision criteria by MCDM techniques. The eight sub-criteria determined are given in the table below.

**Table 1:** Sustainability Criteria in Road Transport

Main Criteria	Sub-Criteria Codes	Sub-Criteria and Units	Author(s) and Year
C1 (Economic)	C11	Capital investment (Millions of USD)	Wang, Le, Chang and Dang (2022a)
	C12	Infrastructure maintenance (Millions of USD)	Wang et al. (2022a)
	C13	GDP (Millions USD)	Wang et al. (2022a)
C2 (Social)	C21	Number of employees (Thousands of persons)	Wang et al. (2022a)
	C22	Road accidents (Number of accidents)	Rao (2021), Bojković et al. (2011)
C3 (Environmental)	C31	Fuel consumption (Thousand tons of oil equivalent)	Sayyadi and Awasthi (2020)
	C32	CO2 emissions (Million tons)	Wang et al. (2022a), Bojković et al. (2011)
	C33	Air pollution emissions (Thousand tons)	Osorio-Tejada, Llera-Sastresa and Scarpellini (2017)

In determining the OECD countries to be compared with Turkey in the research, based on the positive relationship between environmental pollution and GDP (Alper and Alper, 2017; Arı and Zeren, 2011; Kıran, Turanoğlu and Özceylan., 2011) are based on the GDP figures of the countries. Eighteen OECD countries with a GDP below \$1,000,000 million, such as Turkey, are included in the study. In the study, countries were accepted as alternatives to be ranked according to MCDM terminology. Therefore, the codes and GDP values given to the countries are given in Table 2.

**Table 2:** OECD Countries for Comparison

Countries	Alternative Code	GDP (\$ million)
Austria	A1	445,075
Belgium	A2	533,255
Switzerland	A3	731,474
Czech Republic	A4	250,686
Denmark	A5	350,104
Finland	A6	268,966
Hungary	A7	163,504
Iceland	A8	24,837
Lithuania	A9	54,64
Latvia	A10	34,055
Holland	A11	907,051
Norway	A12	405,51
New Zeland	A13	209,127
Poland	A14	595,862
Slovakia Republic	A15	105,119
Slovenia	A16	54,174
Sweden	A17	531,283
Turkey	A18	761,428

### Findings and discussion

According to the analysis results, the criteria' importance levels are listed as CO<sub>2</sub> emissions, fuel consumption and road accidents. Looking at the order of the main sustainability dimensions, which the sub-criteria depend on, it is seen that the environmental dimension comes to the fore, followed by the social and then the economic dimension. It is also understood from the prominence of the environmental dimension that the importance of environmental issues has been reflected in the indicators of the countries in recent years.

Wang et al. (2022a), a similar study in the literature, used different criteria in their study for all OECD countries with the ENTROPY method and determined the importance levels of the criteria; road accidents, air pollution emissions and freight turnover volume, respectively. In this study, the criteria' importance levels differ from those of Wang et al. (2022a), as CO<sub>2</sub> emissions are the most important criterion. Also, Wang et al. (2022a) identified Japan, Germany and France as the top three countries with high scores in road sustainability performance, while Turkey ranked 9th among 28 OECD countries in this study. Iceland, Turkey and Lithuania were the first three countries in this study with high scores in the ranking of countries regarding the sustainability performance of road transport. The reason for Iceland to rank first in the sustainability ranking of road transport compared to other countries could be that the share of road transport in CO<sub>2</sub> emissions has decreased because Iceland has increased the share of air transport in recent years (Şahan, 2017: 10). Turkey ranks 2nd in road transport sustainability performance among 18 OECD countries. It could be because of the effect of the regulations made in Turkey, such as the transition to a low-carbon economy within the scope of the policies adopted in recent years, encouraging environmentally friendly fuel, efficient engines and electric vehicles in passenger and freight transportation, increasing support for R&D studies and proposing multi-modal transportation.

### Conclusion

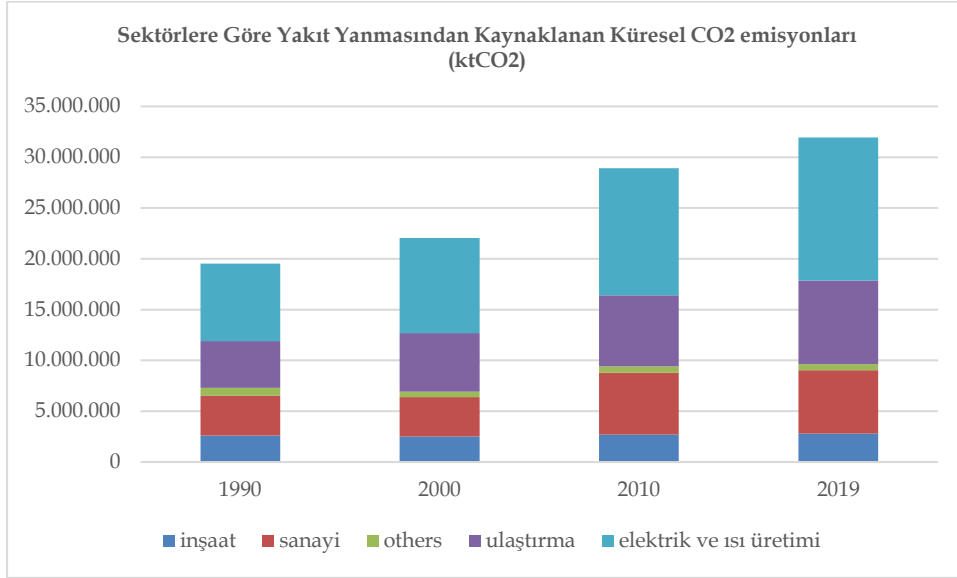
This study lists the sustainability performances of selected OECD countries' existing road transport systems. From the administrative point of view, the study can be considered an important material for the authorities in improving the sustainability of road transport. It can be aimed at reaching a better point regarding the criteria used. For example, practices aimed at reducing fossil fuel consumption and using different energy sources, such as with the carbon tax applied in European Union countries, can be encouraged in Turkey to improve road sustainability performance. In addition to the tax, practices such as popularizing the use of smart traffic systems, encouraging public transportation in urban transportation, accelerating high-speed train line works, expanding the rail system in urban public transportation, developing block train transportation, developing logistics village and port infrastructures, removing old vehicles from traffic, will contribute significantly to reducing CO<sub>2</sub> emissions from transportation in Turkey.

Like every study, this study has various methodological limitations, such as data sets, methods, and criteria. These limitations may shed light on future studies. First, new studies can be conducted methodologically using different MCDM methods and their integrated forms in future studies. The country's road transport sustainability can be evaluated using recently emerged up-to-

date methods such as CODAS, PSI, OCRA, ROV, CODAS, MABAC and MOOSRA. Second, for the eight criteria determined in this study, there was a problem obtaining regular data based on years; therefore, 2019 data was used. In future studies, different indicators can be taken as criteria, and data can be collected from different sources that provide regular and up-to-date statistics for these criteria. Third, the criteria used in this study consider all three dimensions (environmental, economic and social) of sustainability. Future studies that will only examine the social sustainability of road transport can contribute to the literature as a limited number of studies emphasise social dimensions in the literature.

## Giriş

Küreselleşme, sanayileşme ve teknolojik ilerlemelerin artırdığı ticari faaliyetler ve insan hareketliliğinin neden olduğu taşımacılık faaliyetleri toplumların gelişmesine büyük katkılar sağlamakla birlikte, dünya ekosistemini tehdit eden karbon emisyonlarına da sebebiyet vermektedir (Dünder ve Kolay, 2021: 317). Bu noktada, fosil kaynaklı yakıtların yoğun olarak kullanıldığı taşımacılık sektörünün yarattığı emisyonlar, gürültü kirliliği ve trafik sıkışıklığı ile çevresel kirliliğe dolayısıyla da iklim değişikliğine sebebiyet veren en önemli sektörlerden biri olduğu bilinmektedir. Şekil 1’de görülebileceği gibi 2022 yılı verilerine göre dünyada yakıt yanması sonucu oluşan karbondioksit emisyonunun sektörlere göre dağılımında enerji üretiminden sonra ulaştırma sektörü ikinci sıradadır (Uluslararası Enerji Ajansı, 2022).



**Şekil 1:** Sektörlere Göre Yakıt Yanmasından Kaynaklanan Küresel CO<sub>2</sub> Emisyonları (ktCO<sub>2</sub>)

**Kaynak:** Uluslararası Enerji Ajansı, 2022, Erişim Tarihi, <https://www.iea.org>.

Ulaştırma sektörü dünyadaki CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %14'üne yol açarken, bunun yaklaşık %75'ini karayolu taşımacılığı oluşturmaktadır (IPCC, 2014). Dünya genelinde ulaşım sektörü içerisinde ulaşım ağlarına göre salınım değerleri incelendiğinde karayolu kullanılarak yapılan yolcu ve yük taşımacılığının kaynaklı sera gazı emisyon değeri Tablo 1’den anlaşıldığı üzere yaklaşık %74,5 iken, karayolunu sırasıyla havayolu, denizyolu, demiryolu modları takip etmektedir (Demirtürk, 2021: 1085). Bu açıdan yoğun olarak fosil yakıtların kullanıldığı karayolu taşımacılığı, sürdürülebilirliğin özellikle çevre boyutu açısından hem kamu otoritelerinin ve hem de araştırmacıların mercek tuttuğu bir konudur. Öyle ki ulaştırma sektörü açısından 2030 yılına kadar karbon emisyonlarında %30'luk keskin bir artış beklendiğinden, sektör üzerinde özellikle enerji tasarrufu ve emisyonları azaltma konusunda büyük bir baskı söz konusudur (Ma, Wang, Sun, Liu, ve Li., 2018: 1). Avrupa Birliği 2050'ye kadar karbon salınımındaki azalmanın %60'ını yine ulaştırma sektöründen beklemektedir (Büyükkelik ve Özoglu, 2021: 161). Dolayısıyla, ulaştırma sektörünün önemli parçası olan karayolu taşımacılığı açısından emisyonların kontrolü oldukça önemlidir.

**Tablo 1:** Ulaşım Modlarına Göre Sera Gazı Emisyon Oranları

Yolcu Taşımacılığı Karayolu	% 45,1
Yük Taşımacılığı Karayolu	% 29,4
Havayolu	% 11,6
Denizyolu	% 10,6
Demiryolu	% 1
Diğer	% 2,2

**Kaynak:** Our World in Data, 2020. (<https://ourworldindata.org/>)

Bu çalışmanın amacı seçilen OECD ülkelerinde mevcut karayolu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirlik performanslarını değerlendirmek ve karşılaştırma yapmaktır. Türkiye ile karşılaştırılacak ülkelerin seçiminde; GSYİH ile çevre kirliliği arasında pozitif yönlü ilişki bulunduğuna yönelik literatürden (Alper ve Alper, 2017; Arı ve Zeren, 2011; Kıran, Turanoğlu ve Özceylan, 2011) faydalanılarak ülkelerin GSYİH'leri temel alınmıştır. Diğer yandan sürdürülebilirliğin çok boyutlu doğası, çok sayıda kriteri bir arada değerlendirebilen yöntemlerin sürdürülebilirlik değerlendirmeleri için kullanımını uygun

kıldığından (Bojković, Anić, ve Pejčić-Tarle, 2011: 320) çalışmada ÇKKV yöntemlerinden faydalanılmıştır. ENTROPİ kullanılarak kriterlerin önem düzeyleri belirlenmiş ve sonrasında WASPAS yöntemi ile ülkelerin karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik sıralaması yapılmıştır. Karayolu taşımacılığı sürdürülebilirlik değerlendirmesi ile ilgili literatürde farklı ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar olmakla birlikte; bu çalışma ENTROPİ ve WASPAS metodolojisini birleştiren konuyla ilgili ilk makaledir. Türkçe literatürde ÇKKV yöntemleri kullanılarak ülkelerin karayolu taşımacılığının sürdürülebilirlik sıralaması ile ilgili yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özoglu ve Demirci'nin (2021) yaptıkları karayolu yük taşımacılığı ile ilgili sosyal bilimler alanında TÜBİTAK-ULAKBİM TR Dizin'de taranan makaleleri inceledikleri araştırma da bu durumu doğrular niteliktedir. Diğer yandan, sürdürülebilir sistemlerinin oluşturulması açısından karayolu taşımacılığı araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmasına rağmen sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu içine alan çalışmaların azlığı açısından da çalışmanın literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

Altı bölümden oluşan çalışmanın ikinci bölümünde literatüre dair bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölüm olan materyal ve metot kısmında veri seti ve araştırmada kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiş, dördüncü bölümde ise analiz bulguları sunulmuştur. Beşinci bölümde bulgular ile literatürdeki benzer çalışmalar birlikte yorumlanarak tartışma kısmına yer verilmiştir. Çalışma altıncı ve son bölüm olan sonuç ve öneriler bölümüyle tamamlanmıştır.

### Literatür taraması

Dış ticaret faaliyetlerinde ülkelerin rekabet edebilirliklerini önemli ölçüde etkileyen lojistik faaliyetler ve onun belkemiği olan taşımacılık ekonomik kalkınmada önemli bir aktördür (Özoglu ve Büyükkeklik, 2013: 1). Taşımacılık türleri içinde yüklerin kapıdan kapıya aktarmasız taşınmasına imkân veren karayolu taşımacılığı ise yaygın karayolu ağı, farklı büyüklüklerde taşıma araçları, her gün her saat için yükleme-boşaltmaya imkân vermesi, kolay temin edilebilen elleçleme ekipmanları ve çok modlu taşımaya elverişli olması gibi avantajları nedeniyle en çok tercih edilen taşıma türlerindedir (Özoglu ve Demirci, 2021: 672). Ancak, sürdürülebilir kalkınma kavramının küresel bir öncelik olarak belirlendiği 1990'lı yılların başından itibaren taşımacılık ve özellikle karayolu taşımacılığı çevreyi ve yaşam kalitesini olumsuz etkileyen başat sektörlerden kabul edilmektedir (Bojković vd., 2011: 319). Dünyanın hemen hemen her ülkesi için karayolu taşımacılığı mevcut haliyle; azalan petrol rezervleri, global atmosferik etkiler, yerel hava kalitesi etkileri, ölümlü veya yaralanmalı kazalar, trafik tıkanıklığı, gürültü, biyolojik etkileri (otoyollarda öldürülen hayvanlar ve otoyolların yapımı için kesilen ağaçlar vb.) gibi nedenlerle ve ilaveten temel ulaşım ihtiyaçlarının nesiller içinde ve nesiller arası eşitlikle karşılanmasına zarar veren görüntüsüyle sürdürülebilirlikten oldukça uzak bir noktadadır (Black, 2010: 5-10). Bu kapsamda hem araştırmacılar hem uygulayıcılar ve hem de devlet otoriteleri sürdürülebilir bir taşımacılık sistemi için çaba göstermektedir. Sürdürülebilir bir taşımacılık sistemi yerel ve küresel çevreye zararlı emisyonları en aza indirirken; gereksiz ölümleri, yaralanmaları ve trafik tıkanıklığını önleyen; yenilenebilir yakıtlarla düşük maliyetle taşıma ve hareketlilik sağlayan bir sistem olarak tanımlanabilir (Black, 2010: 12).

Literatürde karayolu taşımacılığında özellikle sürdürülebilirliğin çevre boyutu üzerindeki etkilerine odaklanan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Dünder (2021), Demirtürk (2021), Dünder ve Kolay (2021) karayolu ulaşımında sera gazı emisyonu ile ilgili; Bıyık ve Civelekoğlu (2018), Cansız ve Ünsalan (2020), Jaegler ve Gondran (2013), Lewis (2016), Piecyk ve McKinnon (2010), Tian, Huo, Shen ve Li, (2015), Turgut ve Budak (2022) ve Witting (2015) ulaşım ve lojistik sektörleri kaynaklı karbon ayak izi ile ilgili; Akı (2015), Dereli ve Aytaç (2019) sürdürülebilir ulaşım planlamalarının çevre üzerindeki etkisi ile ilgili, Şahan (2017) Türkiye ile OECD ülkelerinde karşılaştırmalı olarak taşımacılığın çevre üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Ancak sürdürülebilir taşımacılık tanımına göre; sürdürülebilir taşımacılık sistemlerinin düşük maliyet şeklinde ekonomik, toplumsal konularla ilgili olarak sosyal ve azalan rezervler ile yaratılan emisyonlar nedeniyle de çevre boyutu söz konusudur.

Sürdürülebilirliğin ekonomik boyutu iş dünyası için kaçınılmaz olarak öncelenmekle birlikte, sosyal ve çevresel boyut hem maliyetleri artırma ile ilgili endişeler hem de uygulamalardaki zorluklar nedeniyle çoğu zaman arka planda kalmaktadır. Oysa ürünlerin sadece "nerede" üretilip teslim edildiğine değil, aynı zamanda "nasıl" ve "hangi koşullarda" üretilip teslim edildiğine ilişkin artan farkındalıkla, iş dünyasından sosyal sürdürülebilirlik de talep edilmektedir (Jung, 2017: 4). Bu nedenlerle taşımacılığın sürdürülebilirliğinin değerlendirmesinde ekonomik, sosyal ve çevresel hedefleri bütünleştiren değerlendirme araçlarının geliştirilmesi ve kullanılması gerekmektedir (Bojković vd., 2011: 320). Ancak hem akademik tarafta hem de uygulamada lojistik ve taşımacılıkta sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu da birlikte ele alan çalışmalar sınırlı düzeydedir (Büyükkeklik ve Özoglu, 2021: 155). Örneğin Bojković vd. (2011) ulaştırma sürdürülebilirliği ile ilgili ülkeler arası karşılaştırma yaptıkları çalışmalarında kullandıkları on kriterden sadece birini -karayolu trafik kazalarında ölen kişi sayısı- sosyal boyutla ilgili

belirlemişlerdir. Castillo ve Pitfield (2010), kullandıkları beş ana sürdürülebilir ulaşım göstergelerinden ikisinde sosyal boyutla ilgili kriterler belirlemişlerdir. Bunlar eşitlik ve sosyal hakkaniyet ile sağlık ve güvenlidir. Wang vd. (2022a), yirmi sekiz OECD ülkesinin karayolu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliğini karşılaştırdıkları çalışmada belirledikleri on iki kriterden ikisi sosyal boyutla ilgilidir. Bunlar çalışan sayısı ve oluşan kazalar şeklindedir. Bunlarla birlikte, taşımacılıkla ilgili farklı ülkeler için sürdürülebilirlik performansını bütünleşik indeksler çerçevesinde ölçen çalışmalar (Rassafi ve Vaziri, 2005; Ramani, Zietsman, Eisele, Rosa, Spillane ve Bochner, 2009; Chen, Leng, Mao ve Liu 2014) da literatürde bulunmaktadır. Literatürde çalışmamıza benzer olarak “ulaşım sistemleri, karayolu, sürdürülebilirlik ve çevre” anahtar kelimeleri ve ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalardan örnekler Tablo 2’de özetlenmiştir.

**Tablo 2:** Literatür Çalışması

Yazar(lar)	Amaç	Yöntem	Bulgu(lar)
Wang vd., (2022a)	OECD ülkelerinde mevcut karayolu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve karşılaştırmak amaçlanmıştır.	ENTROPI, CoCoSo	Altyapısı ve ulaşım hizmetleri gelişmiş ülkeler olan Japonya, Almanya ve Fransa sürdürülebilirlik performansı sıralamasında ilk üç ülke olarak tespit edilmiştir.
Wang, Le, Ling ve Dang (2022b)	OECD ülkelerinde kara taşımacılığının performansını ölçmeyi amaçlanmıştır.	DEA	Kara taşımacılığı verimliliği için Avustralya, İsviçre, İspanya, Fransa, İtalya, Japonya, Kore, Litvanya, Hollanda, Polonya, İsveç ve ABD, tüm dönemler için beş yıl üst üste 25 ülke arasında birinci sırada yer almıştır.
Rivero Gutiérrez, De Vicente Oliva ve Romero-Ania (2021)	Madrid’in karayolu taşımacılığının sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.	AHP	Ekonomik ve çevresel açıdan en sürdürülebilir alternatifin fişe takılabilir elektrikli araç olduğu belirlenmiştir.
Tian vd., (2020)	Bölgesel ulaşım sürdürülebilirliğini ölçmek için ekonomik, sosyal ve çevresel göstergeleri içeren yeni bir sistem önerilmesi amaçlanmıştır.	DEA	2000-2015 yılları arasında Çin’in (Shaanxi) taşımacılık sürdürülebilirliğinin verimsiz olduğu belirlenmiş, bu durumun çevresel ve sosyal boyutların verimliliğinin düşük olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.
Yazdani, Pamucar, Chatterjee ve Chakraborty (2020)	İspanya'daki yedi yük taşımacılığı şirketinin yük taşımacılığı sisteminin performans ölçümü sorununu çözmeyi amaçlanmıştır.	DEMATEL, MABAC	Sunulan 15 kriter içinde sağlık ve güvenlik kriteri en önemli kriter, MAT CARGO en iyi alternatif olarak tespit edilmiştir.
Sayyadi ve Awasthi (2020)	Sürdürülebilir ulaşım politikalarını değerlendirmek için entegre bir yaklaşım sunulması amaçlanmıştır.	ANP	Emisyon, yakıt tüketimi ve tıkanıklık ilk üç önemli kriter olarak tespit edilmiştir.
Ecer, Pamucar, Zolfani ve Eshkalag (2019)	OPEC ülkelerinin sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.	CoCoSo	Birleşik Arap Emirlikleri %71,9 performans puanı ile en sürdürülebilir OPEC ülkesi olurken, arkasından Katar, Kuveyt ve İran sıralanmıştır.
Ullah, Hamid, Mirza ve Shakoob (2018)	Pakistan karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik açısından sıkıştırılmış doğal gaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ve sıvılaştırılmış doğal gaz olarak üç alternatiften en uygununun belirlenmesi amaçlanmıştır.	AHP	Alternatifler içinden sıkıştırılmış doğal gazın Pakistan’ın karayolu taşımacılığı sektörü için en uygun yakıt seçeneği olduğunu ortaya konmuştur.
Ruiz-Padillo, Ruiz, Torija ve Ramos-Ridao (2016)	Bulanık çok kriterli karar modeli kullanarak karayolu trafik gürültüsünün çevresel etkisini azaltmak için uygun alternatiflerin seçimi amaçlanmıştır.	ELECTRE, TOPSIS	İspanya’da Almeria eyaletindeki karayollarının her biri için trafik gürültüsüne karşı gürültü azaltma önlemlerinin uygulanabilirliğini artıracak uygun alternatiflerin seçimi için karar modeli önerilmiştir.
Awasthi, Chauhan ve Omrani (2011)	Sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin seçimi için ÇKKV yaklaşımı sunulması amaçlanmıştır.	TOPSIS	Önerilen bulanık TOPSIS yaklaşımının sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesi ve seçiminde uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.
Bojkovic’ vd., (2011)	Orta ve Doğu Avrupa ülkelerinde ulaştırma sürdürülebilirliğinin ülkeler arası karşılaştırmalı değerlendirmesi için bir çerçeve geliştirmek amaçlanmıştır.	AHP	Değerlendirilen ülkelerden sadece Estonya ve Slovakya en iyi performansa sahip olup, ilgili alt temalara (ulaştırma ve hareketlilik, enerji yoğunluğu) göre en iyi performansı göstermektedir.
Bojković, Anić ve Pejčić-Tarle (2010)	Avrupa ülkelerinde ulaşımın sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.	ELECTRE	Ulaştırma-sürdürülebilirlik konularına göre ülkeler arasında ikili ilişkiler kurulduğu tespit edilmiştir.
Castillo ve Pitfield (2010)	İngiltere’de yapılan bir uygulama ile sürdürülebilir ulaşım göstergelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	AHP	Elde edilen sonuçlara göre sürdürülebilir ulaşım göstergelerinde motorlu trafik hacmi, bisiklet turu sayısı ve yol kazaları ilk üç kriter olarak belirlenmiştir.
Shiau ve Jhang (2010)	1993-2007 döneminde Tayvan’ın ulaşım sektöründe ulaşım sürdürülebilirliğinin ölçülmesi amaçlanmıştır.	DEA, RST	Çalışma sonuçlarına göre maliyet verimliliği, hizmet azaltma ve hizmet etkisi temel göstergelerini sürdürülebilirlik göstergeleri olarak belirlenmiştir.

Tablo 2'ye göre ülkelerin sürdürülebilirlik performansının AHP, ANP, DEMATEL, ELECTRE, CoCoSo, MABAC ve TOPSIS gibi farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak ele alındığı görülmektedir. Bununla birlikte tek bir ülkeye ya da bölgeye yoğunlaşan ve buralarda ulaşım sürdürülebilirlik kapasitesini araştırmaya yönelik çalışmalar olduğu gibi; Avrupa ülkeleri, OECD, OPEC ile Orta ve Doğu Avrupa Ülkeleri gibi birden çok ülkenin, çeşitli kriterler üzerinden kıyaslandığı çalışmalar da literatürde bulunmaktadır.

## Materyal ve metot

İzleyen kısımlarda çalışmada kullanılan veri seti, analiz yöntemleri ve analizlerde kullanılan göstergeler ile kıyaslamaların yapıldığı ülkeler hakkında bilgi verilmiştir.

### Veri seti

Çalışmanın verileri 2019 yılına ait olup; Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu Taşımacılık İstatistikleri (UNECE, Transport Statistics Database), Dünya Bankası (Worldbank Database) İstatistikleri ve Avrupa İstatistiklerinin (Eurostat, European Statistics) sunulduğu web adreslerinden elde edilmiştir. Daha güncel yıllardaki veri kullanılmak istenmiş ancak, ülkelerin farklı göstergeler için veri eksikliğinden dolayı en uygun veri setinin 2019 yılına ait olduğu belirlenmiştir.

### Kullanılan analiz yöntemleri

Çalışmada ÇKKV tekniklerinden faydalanılmıştır. Seçilen OECD ülkelerinde mevcut karayolu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasında önce ENTROPİ yöntemi ile kriterlerin önem düzeyleri belirlenmiş, sonrasında WASPAS yöntemi ile ülkelerin sıralaması yapılmıştır. ENTROPİ yöntemi herhangi bir sübjektif değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaması ve yöntemin uygulanabilirliğinin oldukça kolay olması nedeniyle tercih edilirken, WASPAS yöntemi de diğer ÇKKV yöntemlerine göre kıyaslandığında uygulama sürecinin daha kısa ve kolay olması, hesaplamaların yapılması için özel bilgisayar programları gerektirmemesi nedeniyle tercih edilmiştir. ÇKKV yöntemleri çok sayıda kriter ile birden fazla alternatifin belirlenip seçim, sıralama ve sınıflama yapılmasını sağlayan yöntemlerdir (Vassilev, Genova K. ve Vassileva, 2005: 4). Aşağıda kısaca yöntemler ve uygulama aşamaları anlatılmıştır.

### ENTROPİ yöntemi

ENTROPİ yöntemi ağırlık hesaplama yöntemlerinin objektif olanlarından biridir (Ulutaş ve Topal, 2020; Ayçin, 2019). Yöntemde kullanılan değişkenler aşağıdaki gibidir:

$A_i$  :  $i$ . karar alternatifi ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$C_j$  :  $j$ . değerlendirme kriteri ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

$z_{ij}$  :  $j$ . değerlendirme kriterine göre  $i$ . alternatifi değeri

$P_{ij}$  :  $j$ . değerlendirme kriterine göre  $i$ . alternatifi aldığı normalize değer

$H_j$  : Entropi değeri

$w_j$  :  $j$ . değerlendirme kriteri ağırlığı ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

ENTROPİ yöntemi 5 aşamadan oluşmaktadır.

1. Problemden yer alan bütün alternatiflerin ve kriterlerin bulunduğu karar matrisi düzenlenir. Karar matrisi aşağıdaki eşitlik 1'de gösterilmektedir:

$$E = [Z_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. Karar matrisi değerleri eşitlik 2 (fayda temelli kriterler) ve eşitlik 3 (maliyet temelli kriterler) kullanılarak standart hale getirilir. Bu eşitliklerdeki  $r_{ij}$  değerleri, karar matrisindeki  $Z_{ij}$  değerinin standartlaşmış formudur.

$$r_{ij} = \frac{z_{ij}}{\max_j(z_{ij})} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_j(z_{ij})}{z_{ij}}, \quad \min_j(z_{ij}) \neq 0 \quad (3)$$



3. Eşitlik 4 yardımı ile standartlaştırılan değerler normalize edilir. Eşitlik 4'teki  $t_{ij}$  değeri  $r_{ij}$  değerinin normalize edilmiş halidir.

$$t_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (4)$$

4. Her bir kriterin entropi değeri ( $H_j$ ) eşitlik 5 ile hesaplanır.

$$H_j = -\frac{\sum_{i=1}^m t_{ij} \ln(t_{ij})}{\ln(m)} \quad (5)$$

5. Son adımda kriterlerin her birinin ağırlığı ( $w_j$ ) bulunur.

$$w_j = \frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^n (1-H_j)} \quad (6)$$

### WASPAS yöntemi

WASPAS yöntemi ilk olarak Zavadskas, Turskis, Antuchevicien ve Zakarevicius (2012) tarafından kullanılmıştır. Yöntem ağırlıklı toplam modeli ve ağırlıklı çarpım modelinin bir birleşimidir (Akçakanat, Eren, Aksoy ve Ömürbek, 2017: 290). WASPAS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir:

1.  $X_{ij}$  değerlerinden oluşan ve  $X$  ile simgelenen karar matrisi Eşitlik (1) ile oluşturulur.

$$X = [X_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. Normalizasyon işlemi fayda yönlü kriterler için Eşitlik (2)'den, maliyet yönlü kriterler için Eşitlik (3)'ten yararlanılarak gerçekleştirilir.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (2)$$

$$x_{ij}^* = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (3)$$

3. Ağırlıklı Toplam Yöntemine göre  $i$ . alternatifin toplam görelî önemi, kriter değerlerinin ağırlıklı toplamı olarak belirlenir ve Eşitlik (4) yardımıyla hesaplanır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n x_{ij}^* w_j \quad (4)$$

4. Ağırlıklı Çarpım Yöntemine göre  $i$ . alternatifin toplam görelî önemi, bir alternatifin kriter bazında aldığı normalize değerin kriter ağırlığı kadar kuvvetinin alınması ve bulunan değerlerin her bir alternatif için sırasıyla çarpılması ile Eşitlik (5) yardımıyla hesaplanır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (x_{ij}^*)^{w_j} \quad (5)$$

5. Eşitlik (6) yardımıyla ağırlıklandırılmış ortak genel kriter değeri  $Q_i$  hesaplanır.

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad (6)$$

Karar alternatiflerinin doğru ve etkin bir şekilde sıralamasının yapılabilmesi ve alternatiflerin toplam görelî önemini belirlemek için Eşitlik (7)'den yararlanılmaktadır. Uygun alternatifler  $Q$  değerlerine göre sıralanırlar. En iyi alternatif en yüksek  $Q$  değerine sahiptir. Denklem (6),  $\lambda$  değeri 0 olduğunda WASPAS yöntemi WPM'ye,  $\lambda$  1 olduğunda WSM yöntemine dönüşmektedir. Karar verici,  $\lambda$  değerini istediği gibi belirleyebilmektedir.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} \quad (7)$$

6. Seçeneklerin nihai sıralamalarını belirlemek için  $Q_i$  değerleri azalan şekilde sıralanır. En uygun alternatif ilk sırada yer alır.

7. Farklı  $\lambda$  değerleri için duyarlılık analizi yapılır ve alternatiflerin sıralamadaki değişiklikleri incelenir.

8. Eşitlik (8)'e göre optimal  $\lambda$  bulunarak sıralamanın doğruluğu kontrol edilir.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i^{(2)}}{\sum_{i=1}^m Q_i^{(1)} + \sum_{i=1}^m Q_i^{(2)}} \quad (8)$$

### Kullanılan kriterler

Sürdürülebilirlik ekonomik, sosyal ve çevre olmak üzere üç boyutla ifade edildiğinden, yapılan bu çalışmada da OECD ülkelerinin karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesinde bu üç boyut ile ilgili literatürde kabul görmüş göstergeler ÇKKV tekniklerine uygun olarak karar kriterleri olarak belirlenmiştir. Belirlenen sekiz alt kriter Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3:** Karayolu Taşımacılığında Sürdürülebilirlik Kriterleri

Ana Kriterler	Alt Kriter Kodları	Alt Kriterler ve Birimleri	Yazar(lar) ve Yıl
C1 (Ekonomik)	C11	Sermaye yatırımı (Milyon \$)	Wang vd. (2022a)
	C12	Altyapı bakımı (Milyon \$)	Wang vd.. (2022a)
	C13	GSYİH (Milyon \$)	Wang vd. (2022a)
C2 (Sosyal)	C21	Çalışanlar (Kişi sayısı)	Wang vd. (2022a)
	C22	Yol kazaları (Kaza sayısı)	Rao (2021), Bojkovic' vd. (2011)
C3 (Çevre)	C31	Yakıt tüketimi (Bin ton petrol eşdeğeri)	Sayyadi ve Awasthi (2020)
	C32	CO <sub>2</sub> emisyonları (Milyon ton)	Wang vd. (2022a), Bojkovic' vd. (2011)
	C33	Hava kirliliği (Bin ton)	Osorio-Tejada vd. (2017)

Wang vd. (2022a) tarafından yapılan benzer bir çalışmada "sistem etkinliği" olarak kullanılan ana kriterin alt kriterleri olarak da karayolu uzunluğu, kullanılan araçlar, navlun ciro hacmi ve yolcu ciro hacmi kriterleri de kullanmıştır. Yapılan bu çalışmada ise "sistem etkinliği" kriteri kapsam dışı tutulmuş olup, sürdürülebilirlik kavramının kapsamı içinde ekonomik, sosyal ve çevre ile ilgili kriterler kullanılmıştır. "Ekonomik" kriterinin alt kriterleri olarak sermaye yatırımı, altyapı bakımı ve GSYİH; "sosyal" kriterinin alt kriterleri olarak çalışan sayısı ve yol kazaları; "çevre" kriterinin alt kriterleri olarak yakıt tüketimi, CO<sub>2</sub> emisyonları ve hava kirliliği kriterleri kullanılmıştır.

### Analiz için alternatiflerin belirlenmesi

Çalışmada Türkiye ile karşılaştırma yapılacak OECD ülkelerinin belirlenmesinde, çevre kirliliği ile GSYİH arasındaki pozitif yönlü ilişkiye dayanarak (Alper ve Alper, 2017; Arı ve Zeren, 2011; Kıran vd., 2011) ülkelerin GSYİH rakamları temel alınmıştır. Türkiye gibi 1.000.000 milyon \$ altında GSYİH'ye sahip 18 OECD ülkesi çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada, ülkeler ÇKKV terminolojisine göre sıralanacak alternatifler olarak kabul edilmiştir. Ünelere verilen kodlar ve GSYİH değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4:** Karşılaştırma Yapılacak OECD Ülkeleri

Ülkeler	Alternatif Kodu	GSYİH (milyon \$)
Avusturya	A1	445.075
Belçika	A2	533.255
İsviçre	A3	731.474
Çek Cumhuriyeti	A4	250.686
Danimarka	A5	350.104
Finlandiya	A6	268.966
Macaristan	A7	163.504
İzlanda	A8	24.837
Litvanya	A9	54.64
Letonya	A10	34.055
Hollanda	A11	907.051
Norveç	A12	405.51
Yeni Zelanda	A13	209.127
Polonya	A14	595.862
Slovak Cumhuriyeti	A15	105.119
Slovenya	A16	54.174
İsveç	A17	531.283
Türkiye	A18	761.428

## Bulgular

Karayolu taşımacılık sistemlerinin sürdürülebilirlik performansının ölçülmesinde kullanılacak kriterlerin ve kıyaslamaların yapılacağı alternatiflerin belirlenmesi ile UNECE Transport Statistics Database (<https://w3.unece.org>), Worldbank Database (<https://databank.worldbank.org>) ve European Statistics (<https://ec.europa.eu>) veritabanlarından ülkelerle ilgili 2019 yılına ait veri toplanarak Tablo 5'teki gibi ilk karar matrisi oluşturulmuştur. Bu matriste alt kriterlerden fayda temelli olanlar "max" şeklinde, maliyet temelli olanlar ise "min" şeklinde verilmiştir.

**Tablo 5:** Karayolu Taşımacılık Sistemleri Sürdürülebilirlik Performansı Karar Matrisi

	C11 (max)	C12 (min)	C13 (max)	C21 (max)	C22 (min)	C31 (min)	C32 (min)	C33 (min)
A1 (Avusturya)	652	872	445,075	4.622.075	35.736	8.895	63	650
A2 (Belçika)	897	563	533,255	5.137.174	37.699	8.841	90	553
A3 (İsviçre)	4765	2784	731,474	4.965.077	17.761	7.211	36	224
A4 (Çek)	1604	1140	250,686	5.441.332	20.806	6.778	94	1.070
A5 (Danimarka)	1355	1345	350,104	3.023.904	2.808	4.293	28	316
A6 (Finlandiya)	1766	573	268,966	2.748.960	3.984	4.178	40	488
A7 (Macaristan)	2655	436	163,504	4.750.636	16.627	5.068	45	485
A8 (İzlanda)	115	97	24,837	215.408	770	360	2	196
A9 (Litvanya)	408	171	54,640	1.469.927	3.289	2.151	11	178
A10 (Letonya)	259	1197	34,055	983.777	3.724	1.102	7	156
A11 (Hollanda)	1211	1197	907,051	9.374.012	14.829	10.933	146	862
A12 (Norveç)	4537	2624	405,510	2.829.759	3.579	4.457	35	570
A13 (Yeni Zelanda)	1208	1266	209,127	2.787.494	11.737	5.565	33	986
A14 (Polonya)	2802	558	595,862	18.318.734	30.288	22.782	287	3.223
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	981	335	105,119	2.749.141	5.410	2.790	30	355
A16 (Slovenya)	237	239	54,174	1.028.117	6.025	1.927	13	130
A17 (İsveç)	2904	1160	531,283	5.455.406	13.684	7.016	34	481
A18 (Türkiye)	8332	249	761,428	33.318.941	174.896	28.389	366	4.895

ENTROPİ yöntemi kullanılarak Tablo 3'te sunulan sekiz kriter için önem düzeyleri hesaplanmıştır. Kriterlerin önem düzeyleri Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre en yüksek önemdeki kriterler CO<sub>2</sub> emisyonları (C32), yakıt tüketimi (C31) ve yol kazaları (C22) şeklindedir.

**Tablo 6:** Kriterlerin Önem Düzeyleri

	C11	C12	C13	C21	C22	C31	C32	C33
$w_j$	0,091	0,100	0,072	0,128	<b>0,156</b>	<b>0,168</b>	<b>0,213</b>	0,067

Tablo 6'da hesaplanan önem düzeylerine dayanarak ülkelerin karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansları WASPAS yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve sıralama Tablo 7'deki gibi olmuştur. Sıralamaya göre karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansında yüksek puan alan ilk üç ülke İzlanda (A8), Türkiye (A18) ve Litvanya (A9) olmuştur.

**Tablo 7:** Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifler	$Q_i$	Sıralama
A1 (Avusturya)	0,082	17
A2 (Belçika)	0,092	15
A3 (İsviçre)	0,152	6
A4 (Çek)	0,081	18
A5 (Danimarka)	0,144	8
A6 (Finlandiya)	0,130	10
A7 (Macaristan)	0,115	13
A8 (İzlanda)	<b>0,471</b>	<b>1</b>
A9 (Litvanya)	<b>0,188</b>	<b>3</b>
A10 (Letonya)	0,178	4
A11 (Hollanda)	0,113	14
A12 (Norveç)	0,146	7
A13 (Yeni Zelanda)	0,087	16
A14 (Polonya)	0,116	12
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	0,131	9
A16 (Slovenya)	0,162	5
A17 (İsveç)	0,129	11
A18 (Türkiye)	<b>0,191</b>	<b>2</b>

**Tablo 8:** Farklı  $\lambda$  Değerleri İçin Yapılan Duyarlılık Analizi

	$\lambda$ Değerler i	Alt-1	Alt-2	Alt-3	Alt-4	Alt-5	Alt-6	Alt-7	Alt-8	Alt-9	Alt-10	Alt-11	Alt-12	Alt-13	Alt-14	Alt-15	Alt-16	Alt-17	Alt-18
$Q_i(1)$		0,9	0,11	0,19	0,08	0,15	0,13	0,12	0,67	0,21	0,21	0,14	0,16	0,08	0,17	0,14	0,19	0,14	0,32
$Q_i(2)$		0,05	0,05	0,08	0,05	0,11	0,10	0,08	0,24	0,14	0,12	0,05	0,10	0,07	0,04	0,11	0,11	0,9	0,03
$Q_{0,1}$	0,1	0,064	0,066	0,101	0,063	0,124	0,113	0,094	0,293	0,157	0,139	0,069	0,116	0,081	0,063	0,122	0,128	0,105	0,069
$Q_{0,2}$	0,2	0,068	0,072	0,112	0,066	0,128	0,116	0,098	0,336	0,164	0,148	0,078	0,122	0,082	0,076	0,124	0,136	0,11	0,098
$Q_{0,3}$	0,3	0,072	0,078	0,123	0,069	0,132	0,119	0,102	0,379	0,171	0,157	0,087	0,128	0,083	0,089	0,126	0,144	0,115	0,127
$Q_{0,4}$	0,4	0,076	0,084	0,134	0,072	0,136	0,122	0,106	0,422	0,178	0,166	0,096	0,134	0,084	0,102	0,128	0,152	0,12	0,156
$Q_{0,5}$	0,5	0,08	0,09	0,145	0,075	0,14	0,125	0,11	0,465	0,185	0,175	0,105	0,14	0,085	0,115	0,13	0,16	0,125	0,185
$Q_{0,6}$	0,6	0,084	0,096	0,156	0,078	0,144	0,128	0,114	0,508	0,192	0,184	0,114	0,146	0,086	0,128	0,132	0,168	0,13	0,214
$Q_{0,7}$	0,7	0,088	0,102	0,167	0,081	0,148	0,131	0,118	0,551	0,199	0,193	0,123	0,152	0,087	0,141	0,134	0,176	0,135	0,243
$Q_{0,8}$	0,8	0,092	0,108	0,178	0,084	0,152	0,134	0,122	0,594	0,026	0,202	0,132	0,158	0,088	0,154	0,136	0,184	0,14	0,272
$Q_{0,9}$	0,9	0,096	0,114	0,189	0,087	0,156	0,137	0,126	0,637	0,213	0,211	0,141	0,164	0,089	0,167	0,138	0,192	0,145	0,301
$Q_1$	1	0,9	0,11	0,19	0,08	0,15	0,13	0,12	0,67	0,21	0,21	0,14	0,16	0,08	0,17	0,14	0,19	0,14	0,32

Hesaplanan alternatiflerin nispi önemleri ( $Q_i$ ) için, Eşitlik (7) yardımıyla duyarlılık analizi yapılarak alternatiflerin sıralamadaki değişiklikleri incelenmiştir. Elde edilen duyarlılık analizinin sonucu Tablo 8’de gösterilmiştir. Buna göre  $\lambda$  değerinin değiştirilmesi ile elde edilen alternatif sıralamasının her farklı  $\lambda$  değeri için farklı sıralamalar vermesine rağmen, sıralamalar arasında çok büyük benzerlikler olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 9:** Optimal  $\lambda$  Değerleri

Alternatifler	Optimal $\lambda$	Alternatiflerin Göreceli Önemi
Alt-1	0,375	0,075
Alt-2	0,333	0,08
Alt-3	0,206	0,112
Alt-4	0,4	0,072
Alt-5	0,214	0,128
Alt-6	0,24	0,117
Alt-7	0,272	0,100
Alt-8	0,064	0,277
Alt-9	0,162	0,161
Alt-10	0,171	0,145
Alt-11	0,285	0,085
Alt-12	0,214	0,122
Alt-13	0,352	0,083
Alt-14	0,260	0,083
Alt-15	0,230	0,124
Alt-16	0,187	0,135
Alt-17	0,24	0,112
Alt-18	0,162	0,087

Her bir alternatif için optimal  $\lambda$  değeri için alternatiflerin göreceli önemi Tablo 9’da gösterilmiştir. Optimal  $\lambda$  değerleri incelendiğinde sıralamanın değişmesine rağmen, sıralamalar arasında çok büyük oranda benzerliklerin olduğu görülmüştür.

## Tartışma

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre kriterlerin önem düzeyleri CO<sub>2</sub> emisyonları, yakıt tüketimi ve yol kazaları şeklinde sıralanmıştır. Alt kriterlerin bağlı olduğu ana sürdürülebilirlik boyutlarındaki sıralamaya bakıldığında ise çevre boyutunun öne çıktığı, onu sosyal ve daha sonra da ekonomik boyutun izlediği görülmüştür. Son yıllarda çevresel konuların önem kazanmasının ülkelerin önceliklerine, dolayısıyla göstergelerine yansıdığı çevresel boyutun öne çıkmasından da anlaşılmaktadır.

Literatürdeki benzer bir çalışma olan Wang vd. (2022a) tüm OECD ülkeleri için ENTROPİ yöntemiyle yaptığı çalışmada farklı kriterlerden de faydalanmış ve kriterlerin önem düzeylerini; yol kazaları, hava kirliliği emisyonları ve navlun ciro hacmi olarak belirlemiştir. Kriterlerin önem düzeyleri karşılaştırıldığında Wang vd. (2022a) çalışması ile yapılan bu çalışmada elde edilen kriterlerin önem düzeylerinin farklılaştığı görülmektedir. Ancak karayolu taşımacılığının sürdürülebilirlik performansının ölçüldüğü bu çalışmada CO<sub>2</sub> emisyonları kriterinin en önemli kriter olarak bulunması beklenir bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Diğer yandan Wang vd. (2022a) Japonya, Almanya ve Fransa’nın karayolunda sürdürülebilirlik performansında yüksek puan alan ilk üç ülke olarak belirlemiş, Türkiye ise çalışmada 28 OECD ülkesi içerisinde 9. sırada yer almıştır. Çalışmamızda ise karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansında ülkelerin sıralanmasında yüksek puan alan ilk üç ülke İzlanda, Türkiye ve Litvanya olmuştur. İzlanda taşımacılıkta diğer modlar arasında havayolu taşımacılığını son yıllarda daha yoğun tercih etmesi nedeniyle karayolunun CO<sub>2</sub> emisyonundaki payında düşüş olduğundan (Şahan, 2017: 10), karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik sıralamasında diğer ülkelere göre ilk sırada yer alması mümkün görünmektedir. Ayrıca, çalışmamızda Türkiye 18 OECD ülkesi içinde karayolu taşımacılığında sürdürülebilirlik performansında 2. sırada yer almaktadır. Bu doğrultuda Türkiye’de özellikle son yıllarda benimsenen politikalar kapsamında düşük karbonlu ekonomiye geçişle yolcu ve yük taşımacılığında çevre dostu yakıt, verimli motorların ve elektrikli araçların teşvik edilmesi, AR-GE çalışmalarına desteğin artırılması, çok modlu taşımacılığın önerilmesi gibi yapılan düzenlemelerin etkisinin sonucu olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Diğer yandan alternatif sıralamalarındaki tutarlılığı kontrol edebilmek amacıyla analiz kısmında duyarlılık analizi de yapılmıştır. Duyarlılık analizi sonucuna göre alternatiflerin sıralaması incelendiğinde seçilen  $\lambda$  değerine bağlı olarak alternatiflerin sıralamasının değişmesine rağmen, sıralamalar arasında çok büyük benzerlikler olduğu sonucuna varılmıştır. Alternatiflerin sıralamaları

ile ilgili benzer sonuçlara ulaşılmışından dolayı yapılan analizin tutarlı ve doğru bir analiz olduğu yorumu yapılabilir. Çalışmada uzman görüşü gerektirmeyen teknikler kullanıldığından, subjektif kriter ağırlıkları yerine objektif kriter ağırlıkları belirlenmiş, böylece alınan sonuçlarda herhangi bir karar vericinin etkisi olmamıştır.

## Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu Taşımacılık istatistikleri, Dünya Bankası ve Avrupa istatistikleri kullanılarak seçilen OECD ülkelerinin mevcut karayolu ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirlik performansları sıralanmıştır. ÇKKV yöntemlerinden ENTROPİ yöntemi ile kriterlerin önem düzeyleri belirlenmiş, WASPAS yöntemi ile de ülkelerin sıralaması yapılmıştır. Yönetimsel açıdan, çalışma yetkililer için karayolu taşımacılığının sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesinde önemli bir materyal olarak değerlendirilebilir ve kullanılan kriterler açısından daha iyi noktaya gelmek hedeflenebilir. Örneğin, Türkiye'nin karayolu sürdürülebilirlik performansının daha iyi düzeylerde olması için gelişmiş ve gelişmekte olan Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanan karbon vergisi ile fosil yakıt tüketimini azaltmaya yönelik uygulamalar ve farklı enerji kaynakları kullanımının teşvik edilmesi sağlanabilir. Bu uygulamalar Türkiye'de taşımacılıktan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasına önemli katkı sağlayacaktır. Akıllı trafik sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması, şehir içi ulaşımda toplu taşımının özendirilmesi, yüksek hızlı tren hat çalışmalarının hızlandırılması, kent içi toplu ulaşımda raylı sistemin yaygınlaşması, blok tren taşımacılığının geliştirilmesi, lojistik köy ve liman altyapılarının geliştirilmesi, eski araçların trafikten çıkarılması, araçların akaryakıt türüne ve akaryakıt tüketimlerine göre vergilendirmelerin getirilmesi gibi yapılacak birtakım uygulamalarla birlikte de CO<sub>2</sub> emisyon miktarlarının azaltılmasına katkı sağlanabilir.

Ayrıca, Türkiye'de yaşanan yol kazalarının azaltılması noktasında da çözümler geliştirilebilir. Yol kazalarının ülkeler bazında ekonomik ve ekolojik yönden birçok zararı olduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda zararların minimum seviyede tutulması için trafik mevzuatı ve denetiminden sorumlu kişi ve kurumların, etkin bir denetim ve caydırıcı cezaları mevcut halinden daha da iyileştirmesi bir zorunluluktur. Karayollarının fiziki yapısı ile denetimler ve hizmetlerin de geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bununla birlikte özellikle Türkiye'de trafik bilincinin yükseltilmesinde eğitimcilere büyük görevler düşmektedir. Geliştirilen çözümler ile Türkiye'de yaşanan yol kazalarının sayısının da azaltılmasında daha iyi noktalara gelinebilir.

Her çalışma gibi bu çalışmanın da veri seti, kullanılan yöntemler, kullanılan kriterler gibi metodolojik çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. Aslında bu sınırlılıklar gelecekte yapılabilecek çalışmalara da ışık tutabilir. Metodolojik olarak, gelecekteki çalışmalarda farklı ÇKKV yöntemleri ve bunların bütünleşik halleri kullanılarak yeni çalışmalar yapılabilir. Literatür özeti tablosunda (Tablo 2'de) yer almayan; CODAS, PSI, OCRA, ROV, MABAC ve MOOSRA gibi yakın zamanda ortaya çıkmış güncel yöntemler kullanılarak ülkelerin karayolu taşımacılığının sürdürülebilirliği değerlendirilebilir. Bu çalışmada belirlenen sekiz kriter için yıllara dayalı düzenli verinin temininde sıkıntı yaşanmış ve 2019 verilerinden faydalanılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda çevre boyutu için karayolu taşımacılığında kullanılan enerji kaynaklarında yenilenebilir enerji kullanım düzeyi, yakıt türleri ve neden oldukları emisyon miktarları; ekonomik boyut için karayollarının uzunluğu, karayollarının kalitesi, bakım maliyetleri ve vergiler gibi hem farklı göstergeler kriter olarak alınabilir hem de bu kriterler için düzenli ve güncel istatistikler sunan farklı kaynaklardan veri toplanabilir.

Diğer yandan, bu çalışmada sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarının her üçünü de temsil eden alt kriterlerle çalışılmış olmakla birlikte, literatürde sosyal boyutun vurgulandığı çalışmaların oldukça kısıtlı olduğundan yola çıkılarak, karayolu taşımacılığının sadece sosyal sürdürülebilirliğini inceleyecek çalışmalar önemli bir boşluğu doldurabilir. Sektördeki iş sağlığı ve güvenliği politikaları, trafik güvenliği, çalışanların ortalama maaşları, eğitimleri gibi sosyal boyuta dair farklı kriterlerle yeni çalışmalar planlanabilir. Bu çalışmada objektif ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır, ancak özellikle insan ve toplumla ilgili olan sosyal boyut üzerine yapılacak gelecekteki çalışmalarda uzman görüşlerine dayalı subjektif yöntemler tercih edilerek daha iyi sonuçlar alınması mümkün olabilir.

## Hakem Değerlendirmesi / Peer-review:

Dış bağımsız

*Externally peer-reviewed*

**Çıkar Çatışması / Conflict of interests:**

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

*The authors have no conflict of interest to declare.*

**Finansal Destek / Grant Support:**

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

*The authors declared that this study has received no financial support.*

**Yazar Katkıları / Author Contributions:**

Fikir/Kavram/Tasarım - *Idea/Concept/ Design*: **G.S., A.B.** Veri Toplama ve/veya İşleme - *Data Collection and/or Processing*: **G.S.** Analiz ve/veya Yorum - *Analysis and/or Interpretation*: **GS., A.B.**, Kaynak Taraması - *Literature Review*: **G.S., A.B.**, Makalenin Yazımı - *Writing the Article*: **G.S., A.B.** Eleştirel İnceleme - *Critical Review*: **G.S., A.B.**, Onay - *Approval*: **G.S., A.B.**

**Kaynakça / References**

- Akçakanat, Ö., Eren, H., Aksoy, E. ve Ömürbek, V. (2017). Bankacılık Sektöründe Entropi ve Waspas Yöntemleri ile Performans Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(2), 285-300.
- Akı, B. (2015). Sürdürülebilir Ulaşım Planlamaları ve Çevre Üzerindeki Olumsuz Etkileri, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, 28 - 30th May 2015-Ankara.
- Alper, F. Ö. ve Alper, A. E. (2017). Karbondioksit Emisyonu, Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi İlişkisi: Türkiye İçin Bir ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *Sosyoekonomi*, 25(33), 145-156.
- Arı, A. ve Zeren F. (2011). CO<sub>2</sub> Emisyonu ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 2, 37-47
- Ayçin E. (2019). Çok Kriterli Karar Verme Bilgisayar Uygulamalı Çözümler, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S. and Omrani, H. (2011). Application of fuzzy TOPSIS in Evaluating Sustainable Transportation Systems. *Expert systems with Applications*, 38(10), 12270-12280.
- Bıyık, Y. ve Civelekoğlu, G., (2018). Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2 (2), 157-166.
- Black, W. R. (2010). Sustainable Transportation: Problems and Solutions. Guilford Press, New York. <https://www.guilford.com/excerpts/black2.pdf> Erişim tarihi: 16.10.2022.
- Bojković, N., Anić, I. and Pejčić-Tarle, S. (2010). One Solution for Cross-Country Transport-Sustainability Evaluation Using a Modified ELECTRE Method. *Ecological Economics*, 69(5), 1176-1186.
- Bojković, N., Macura, D., Pejčić-Tarle, S. and Bojković, N. (2011). A Comparative Assessment of Transport-Sustainability in Central and Eastern European Countries with a Brief Reference to the Republic of Serbia. *International Journal of Sustainable Transportation*, 5(6), 319-344.
- Büyükkelik, A. ve Özoğlu, B. (2021). "Lojistik Hizmetlerde Sürdürülebilirlik ve Dijitalleşme", Pazarlama Bakışıyla Lojistik Hizmetlerde Yeni Uygulamalar (içinde) 153 - 175, 1. Baskı, Nobel Yayınevi, Ankara.
- Cansız, Ö. F. ve Ünsalan, K. (2020). Yük Taşımacılığında Tek Türlü ve Çok Türlü Taşımacılık Rotalarının Karbon Ayak İzinin Karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 809-816.
- Castillo, H. and Pitfield, D. E. (2010). ELASTIC—A Methodological Framework for Identifying and Selecting Sustainable Transport Indicators. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(4), 179-188.



- Chen, S., Leng, Y., Mao, B. and Liu, S. (2014). Integrated weight-based multi-criteria evaluation on transfer in large transport terminals: A case study of the Beijing South Railway Station. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (66), 13-26.
- Demirtürk, D. (2021). Sürdürülebilir Ulaşımında Sera Gazı Etkisini Azaltmaya Yönelik Çalışmalar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1080-1092.
- Dereli, M. ve Aytaç, A. (2019). Uluslararası Ticaret ve Çevre İlişkisi Kapsamında Yeşil Lojistik Kavramı: Avrupa Birliği ve Türkiye. *Sosyal ve Beşeri Bilimler*, 68.
- Dündar, A. O. (2021). Türkiye'deki Büyükşehirlerin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 318-337.
- Dündar, A. O. ve Kolay, A. (2021). Karayolu Yük ve Yolcu Taşımacılığının Çevresel Sürdürülebilirlik Bakımından Değerlendirilmesi ve Konya İli Sera Gazı Emisyonunun Hesaplanması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 14(1), 317 - 334.
- Ecer, F., Pamucar, D., Zolfani, S. H. and Eshkalag, M. K. (2019). Sustainability Assessment of OPEC Countries: Application of a Multiple Attribute Decision Making Tool. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118324.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/5\\_Summary-for-Policymakers\\_Mitigation-of-Climate-Change\\_post\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/5_Summary-for-Policymakers_Mitigation-of-Climate-Change_post_FINAL.pdf) Erişim Tarihi, 23.12.2022.
- Jaegler, A. and Gondran, N. (2013). How to Reduce the Carbon Footprint of Road Freight on Supply Chains? In 2013 International Conference on Advanced Logistics and Transport, 104-109. IEEE.
- Jung, H. (2017). Evaluation of third party logistics providers considering social sustainability. *Sustainability*, 9(5), 777.
- Kıran, M.S. Turanoğlu, E. ve Özceylan, E. (2011). Artificial Bee Colony Approach To Estimate CO2 Emission of Turkey, Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering.
- Lewis, A. (2016). Towards a Harmonized Framework for Calculating Logistics Carbon Footprint. In *Sustainable Logistics and Supply Chains*, 163-181. Springer, Cham.
- Ma, F., Wang, W., Sun, Q., Liu, F. and Li, X. (2018). Ecological Pressure of Carbon Footprint in Passenger Transport: Spatio-temporal changes and regional disparities. *Sustainability*, 10(2), 317.
- Osorio-Tejada, J. L., Llera-Sastresa, E., and Scarpellini, S. (2017). A Multi-Criteria Sustainability Assessment for Biodiesel and Liquefied Natural Gas as Alternative Fuels in Transport Systems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 42, 169-186.
- Özoğlu, B. and Büyükkelik, A. (2013). The Transportation and Logistics Sector in Turkish Economy: A Review about Growth Potential and Education Infrastructure. *Transport & Logistics*, 13(7), 1-10.
- Özoğlu, B. ve Demirci, S. (2021). Türkiye'de Karayolu Taşımacılığının Değerlendirilmesi: Bir Literatür Taraması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 670-687.
- Piecyk, M. I. and McKinnon, A. C. (2010). Forecasting the Carbon Footprint of Road Freight Transport in 2020. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 31-42.
- Ramani, T., Zietsman, J., Eisele, W., Rosa, D., Spillane, D. and Bochner, B. (2009). Developing Sustainable Transportation Performance Measures for TXDOT's Strategic Plan: Technical Report. Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System.
- Rao, S. H. (2021). A Hybrid MCDM Model Based on DEMATEL and ANP for Improving the Measurement of Corporate Sustainability Indicators: A study of Taiwan High Speed Rail. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100657, 1-12.
- Rassafi, A.A. and Vaziri, M. (2005). Sustainable transport indicators: Definition and integration. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2(1), 83-96.
- Rivero Gutiérrez, L., De Vicente Oliva, M. A. and Romero-Ania, A. (2021). Managing Sustainable Urban Public Transport Systems: An AHP Multicriteria Decision Model. *Sustainability*, 13(9), 4614.
- Ruiz-Padillo, A., Ruiz, D. P., Torija, A. J. and Ramos-Ridao, Á. (2016). Selection of suitable alternatives to reduce the environmental impact of road traffic noise using a fuzzy multi-criteria decision model. *Environmental Impact Assessment Review*, 61, 8-18.

- Sayyadi, R. and Awasthi, A. (2020). An Integrated Approach Based on System Dynamics and ANP for Evaluating Sustainable Transportation Policies. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 7(2), 182-191.
- Shiau, T. A. and Jhang, J. S. (2010). An integration model of DEA and RST for measuring transport sustainability. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(1), 76-83.
- Şahan, D. (2017). Türkiye’de Taşımacılığın Çevresel Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Analizi. *Politik Ekonomik Kuram*, 1(2), 1-15.
- Tian, Z., Huo, L., Shen, G. and Li, Z. (2015). Analysis on the Base Model of Low Carbon Logistics. In LISS 2013, 509-514. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tian, N., Tang, S., Che, A. and Wu, P. (2020). Measuring Regional Transport Sustainability Using Super-Efficiency SBM-DEA with Weighting Preference. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118474.
- Turgut, A. ve Budak, T. (2022). Lojistik ve Taşımacılığın Karbon Ayak İzi: Sistemik Bir Literatür İncelemesi. *Kent Akademisi*, 15(2), 846-858.
- Ullah, K., Hamid, S., Mirza, F. M. and Shakoor, U. (2018). Prioritizing the gaseous alternatives for the road transport sector of Pakistan: A multi criteria decision making analysis. *Energy*, 165, 1072-1084.
- Ulutaş, A. ve Topal, A. (2020). Bütünleştirilmiş Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Üretim Sektörü Uygulamaları, Akademisyen Kitabevi, Ankara.
- Vassilev V., Genova K. and Vassileva, M. (2005). A Brief Survey of Multi-criteria Decision Making Methods. *Bulgarian Academy of Sciences Cybernetics and Information Technologies*. 5(1), 4.
- Yazdani, M., Pamucar, D., Chatterjee, P. and Chakraborty, S. (2020). Development of a Decision Support Framework for Sustainable Freight Transport System Evaluation Using Rough Numbers. *International Journal of Production Research*, 58(14), 4325-4351.
- Wang, C. N., Le, T. Q., Chang, K. H. and Dang, T. T. (2022a). Measuring Road Transport Sustainability Using MCDM-Based Entropy Objective Weighting Method. *Symmetry*, 14(5), 1033.
- Wang, C. N., Le, T. Q., Yu, C. H., Ling, H. C. and Dang, T. T. (2022b). Strategic Environmental Assessment of Land Transportation: An Application of DEA with Undesirable Output Approach. *Sustainability*, 14(2), 972.
- Witting, H. (2015). Standards as a Controlling Mechanism: Methods and Effects of Carbon Footprinting in the Logistic Sector. *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie*, 59(2), 102-114.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. and Zakarevicius, A. (2012). Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment. *Electronics and Electrical Engineering* 6(122), 3-6.
- Uluslararası Enerji Ajansı, 2022. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>, Erişim Tarihi, 07.10.2022
- UNECE Transport Statistics Database. <https://w3.unece.org/PXWeb/en/TableDomains/?fbclid=IwAR19yIHpHWTQwqcO1o2HhoBosZceXJmetZj0dtgqwCOt8wvbxEcRDL1A0Ys>, Erişim Tarihi, 21.10.2022.
- Workbank Database. [https://databank.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD/1ff4a498/Popular-Indicators?fbclid=IwAR0vITUVT71cydydf2ktI86KhNSZ\\_njCWi0h5vPL0VoqXTOGmZAwMVcwDU4](https://databank.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD/1ff4a498/Popular-Indicators?fbclid=IwAR0vITUVT71cydydf2ktI86KhNSZ_njCWi0h5vPL0VoqXTOGmZAwMVcwDU4), Erişim Tarihi, 21.10.2022.
- European Statistics. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database?fbclid=IwAR0RnZWbkyF0YdaL6WkZAOMTiUcbecOaKqzFv1uuL29d-YtCjwY9ommeHLo>, Erişim Tarihi, 21.10.2022.
- Our World in Data. <https://ourworldindata.org/>, Erişim Tarihi, 27.12.2022.

## Appendix (Ekler)

## Appendix 1: (Ek 1:) ENTROPİ Standartlaştırılmış Karar Matrisi

	C11 (max)	C12 (min)	C13 (max)	C21 (max)	C22 (min)	C31 (min)	C32 (min)	C33 (min)
A1 (Avusturya)	0	0,111239	0	0,138722	0	0	0,031746	0,2
A2 (Belçika)	0	0,172291	1	0,154182	0	0	0,022222	0,235081
A3 (İsviçre)	1	0,034842	1	0,149017	0	0	0,055556	0,580357
A4 (Çek)	0	0,085088	0	0,16331	0	0	0,021277	0,121495
A5 (Danimarka)	0	0,072119	0	0,090756	0	0	0,071429	0,411392
A6 (Finlandiya)	0	0,169284	0	0,082504	0	0	0,05	0,266393
A7 (Macaristan)	0	0,222477	0	0,142581	0	0	0,044444	0,268041
A8 (İzlanda)	0	1	0	0,006465	1	1	1	0,663265
A9 (Litvanya)	0	0,567251	0	0,044117	0	0	0,181818	0,730337
A10 (Letonya)	0	0,081036	0	0,029526	0	0	0,285714	0,833333
A11 (Hollanda)	0	0,081036	1	0,281342	0	0	0,013699	0,150812
A12 (Norveç)	1	0,036966	0	0,084929	0	0	0,057143	0,22807
A13 (Yeni Zelanda)	0	0,076619	0	0,083661	0	0	0,060606	0,131846
A14 (Polonya)	0	0,173835	1	0,549799	0	0	0,006969	0,040335
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	0	0,289552	0	0,08251	0	0	0,066667	0,366197
A16 (Slovenya)	0	0,405858	0	0,030857	0	0	0,153846	1
A17 (İsveç)	0	0,083621	1	0,163733	0	0	0,058824	0,27027
A18 (Türkiye)	1	0,389558	1	1	0	0	0,005464	0,026558

## Appendix 2: (Ek 2:) ENTROPİ Normalleştirilmiş Karar Matrisi

A1 (Avusturya)	0,017771	0,027448	0,06926	0,042319	0,00779016	0,016232	0,014513	0,030657
A2 (Belçika)	0,024449	0,042513	0,082982	0,047035	0,00738452	0,016331	0,010159	0,036035
A3 (İsviçre)	0,129879	0,008597	0,113828	0,045459	0,01567418	0,020023	0,025398	0,08896
A4 (Çek)	0,04372	0,020995	0,03901	0,04982	0,01338023	0,021302	0,009727	0,018623
A5 (Danimarka)	0,036933	0,017795	0,054481	0,027686	0,09914141	0,033632	0,032654	0,06306
A6 (Finlandiya)	0,048136	0,041771	0,041855	0,025169	0,06987678	0,034558	0,022858	0,040834
A7 (Macaristan)	0,072367	0,054896	0,025444	0,043496	0,01674319	0,028489	0,020318	0,041087
A8 (İzlanda)	0,003135	0,246751	0,003865	0,001972	0,36154425	0,401065	0,457159	0,101669
A9 (Litvanya)	0,011121	0,13997	0,008503	0,013458	0,08464247	0,067124	0,08312	0,11195
A10 (Letonya)	0,00706	0,019996	0,005299	0,009007	0,07475539	0,131019	0,130617	0,127738
A11 (Hollanda)	0,033008	0,019996	0,14115	0,085827	0,01877329	0,013206	0,006262	0,023117
A12 (Norveç)	0,123664	0,009122	0,063103	0,025909	0,07778404	0,032395	0,026123	0,03496
A13 (Yeni Zelanda)	0,032926	0,018906	0,032543	0,025522	0,02371893	0,025945	0,027707	0,02021
A14 (Polonya)	0,076374	0,042894	0,092725	0,167723	0,0091914	0,006338	0,003186	0,006183
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	0,026739	0,071447	0,016358	0,025171	0,05145824	0,05175	0,030477	0,056133
A16 (Slovenya)	0,00646	0,100146	0,00843	0,009413	0,04620566	0,074926	0,070332	0,153285
A17 (İsveç)	0,079154	0,020633	0,082675	0,049949	0,02034413	0,020579	0,026892	0,041428
A18 (Türkiye)	0,227104	0,096124	0,118489	0,305063	0,00159174	0,005086	0,002498	0,004071

**Appendix 3: (Ek 3:) ENTROPİ Ln Değerleri**

A1 (Avusturya)	-4,03016	-3,59546	-2,66989	-3,16252	-4,85489417	-4,12077	-4,23271	-3,48489
A2 (Belçika)	-3,71115	-3,15795	-2,48913	-3,05686	-4,90836916	-4,11468	-4,58939	-3,32328
A3 (İsviçre)	-2,04115	-4,75631	-2,17307	-3,09093	-4,15574063	-3,91089	-3,6731	-2,41957
A4 (Çek)	-3,12995	-3,86345	-3,24393	-2,99934	-4,313977	-3,84897	-4,63287	-3,98333
A5 (Danimarka)	-3,29865	-4,02881	-2,9099	-3,58681	-2,31120808	-3,39227	-3,42178	-2,76366
A6 (Finlandiya)	-3,03373	-3,17555	-3,17355	-3,68214	-2,66102193	-3,36512	-3,77846	-3,19824
A7 (Macaristan)	-2,62601	-2,90231	-3,67129	-3,13508	-4,08976347	-3,55823	-3,89624	-3,19207
A8 (İzlanda)	-5,76527	-1,39938	-5,5558	-6,22858	-1,01737083	-0,91363	-0,78272	-2,28603
A9 (Litvanya)	-4,49894	-1,96633	-4,76736	-4,30815	-2,46931916	-2,70122	-2,48747	-2,1897
A10 (Letonya)	-4,95338	-3,91224	-5,24015	-4,70972	-2,59353395	-2,03241	-2,03549	-2,05778
A11 (Hollanda)	-3,411	-3,91224	-1,95793	-2,45542	-3,97532031	-4,32707	-5,07318	-3,76718
A12 (Norveç)	-2,09018	-4,69712	-2,76299	-3,65317	-2,55381902	-3,42976	-3,64492	-3,35356
A13 (Yeni Zelanda)	-3,41348	-3,96828	-3,42519	-3,66822	-3,74148183	-3,65178	-3,58608	-3,90158
A14 (Polonya)	-2,57212	-3,14902	-2,37812	-1,78544	-4,68948718	-5,06125	-5,74906	-5,08599
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	-3,62163	-2,6388	-4,11304	-3,68207	-2,96698468	-2,96133	-3,49077	-2,88004
A16 (Slovenya)	-5,04214	-2,30113	-4,77593	-4,66563	-3,07465307	-2,59125	-2,65453	-1,87545
A17 (İsveç)	-2,53636	-3,88084	-2,49284	-2,99676	-3,89496286	-3,88348	-3,61594	-3,18379
A18 (Türkiye)	-1,48235	-2,34212	-2,13294	-1,18724	-6,4429271	-5,28129	-5,99221	-5,50389

**Appendix 4: (Ek 4:) WASPAS Normalize Karar Matrisi**

Kriterler	C11 (max)	C12 (min)	C13 (max)	C21 (max)	C22 (min)	C31 (min)	C32 (min)	C33 (min)
Kriter Ağırlığı	0,100803	0,100627	0,072616	0,128867	0,15656682	0,168889	0,213542	0,067426
Alternatifler								
A1 (Avusturya)	0,078253	0,111239	0,490684	0,138722	0,0215469	0,040472	0,031746	0,2
A2 (Belçika)	0,107657	0,172291	0,5879	0,154182	0,02042494	0,040719	0,022222	0,235081
A3 (İsviçre)	0,571892	0,034842	0,806431	0,149017	0,04335341	0,049924	0,055556	0,580357
A4 (Çek)	0,192511	0,085088	0,276375	0,16331	0,03700856	0,053113	0,021277	0,121495
A5 (Danimarka)	0,162626	0,072119	0,385981	0,090756	0,27421652	0,083857	0,071429	0,411392
A6 (Finlandiya)	0,211954	0,169284	0,296528	0,082504	0,19327309	0,086166	0,05	0,266393
A7 (Macaristan)	0,318651	0,222477	0,180259	0,142581	0,04631022	0,071034	0,044444	0,268041
A8 (İzlanda)	0,013802	1	0,027382	0,006465	1	1	1	0,663265
A9 (Litvanya)	0,048968	0,567251	0,060239	0,044117	0,23411371	0,167364	0,181818	0,730337
A10 (Letonya)	0,031085	0,081036	0,037545	0,029526	0,20676692	0,326679	0,285714	0,833333
A11 (Hollanda)	0,145343	0,081036	1	0,281342	0,05192528	0,032928	0,013699	0,150812
A12 (Norveç)	0,544527	0,036966	0,447064	0,084929	0,21514389	0,080772	0,057143	0,22807
A13 (Yeni Zelanda)	0,144983	0,076619	0,230557	0,083661	0,0656045	0,06469	0,060606	0,131846
A14 (Polonya)	0,336294	0,173835	0,656922	0,549799	0,02542261	0,015802	0,006969	0,040335
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	0,117739	0,289552	0,115891	0,08251	0,14232902	0,129032	0,066667	0,366197
A16 (Slovenya)	0,028445	0,405858	0,059725	0,030857	0,12780083	0,186819	0,153846	1
A17 (İsveç)	0,348536	0,083621	0,585726	0,163733	0,0562701	0,051311	0,058824	0,27027
A18 (Türkiye)	1	0,389558	0,839454	1	0,00440262	0,012681	0,005464	0,026558

**Appendix 5: (Ek 5: ) Ağırlıklı Toplam Modeli (WSM) ile Alternatiflerin Toplam Görelî Önemlerinin Hesaplanması**

Kriterler	C11 (max)	C12 (min)	C13 (max)	C21 (max)	C22 (min)	C31 (min)	C32 (min)	C33 (min)	Q <sup>(a)</sup>
A1 (Avusturya)	0,007888	0,011194	0,035632	0,017877	0,00337353	0,006835	0,006779	0,013485	0,103063
A2 (Belçika)	0,010852	0,017337	0,042691	0,019869	0,00319787	0,006877	0,004745	0,015851	0,12142
A3 (İsviçre)	0,057649	0,003506	0,05856	0,019203	0,00678771	0,008432	0,011863	0,039131	0,205132
A4 (Çek)	0,019406	0,008562	0,020069	0,021045	0,00579431	0,00897	0,004543	0,008192	0,096582
A5 (Danimarka)	0,016393	0,007257	0,028029	0,011695	0,04293321	0,014163	0,015253	0,027738	0,163462
A6 (Finlandiya)	0,021366	0,017035	0,021533	0,010632	0,03026015	0,014552	0,010677	0,017962	0,144017
A7 (Macaristan)	0,032121	0,022387	0,01309	0,018374	0,00725064	0,011997	0,009491	0,018073	0,132783
A8 (İzlanda)	0,001391	0,100627	0,001988	0,000833	0,15656682	0,168889	0,213542	0,044721	0,688559
A9 (Litvanya)	0,004936	0,057081	0,004374	0,005685	0,03665444	0,028266	0,038826	0,049244	0,225066
A10 (Letonya)	0,003133	0,008154	0,002726	0,003805	0,03237284	0,055173	0,061012	0,056188	0,222565
A11 (Hollanda)	0,014651	0,008154	0,072616	0,036256	0,00812978	0,005561	0,002925	0,010169	0,158462
A12 (Norveç)	0,05489	0,00372	0,032464	0,010945	0,0336844	0,013641	0,012202	0,015378	0,176925
A13 (Yeni Zelanda)	0,014615	0,00771	0,016742	0,010781	0,01027149	0,010925	0,012942	0,00889	0,092877
A14 (Polonya)	0,0339	0,017493	0,047703	0,070851	0,00398034	0,002669	0,001488	0,00272	0,180803
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	0,011868	0,029137	0,008416	0,010633	0,022284	0,021792	0,014236	0,024691	0,143057
A16 (Slovenya)	0,002867	0,04084	0,004337	0,003976	0,02000937	0,031552	0,032853	0,067426	0,203861
A17 (İsveç)	0,035134	0,008415	0,042533	0,0211	0,00881003	0,008666	0,012561	0,018223	0,155442
A18 (Türkiye)	0,100803	0,0392	0,060958	0,128867	0,0006893	0,002142	0,001167	0,001791	0,335617

**Appendix 6: (Ek 6: ) Ağırlıklı Çarpım Modeli (WPM) ile Alternatiflerin Toplam Görelî Önemlerinin Hesaplanması**

Kriterler	C11 (max)	C12 (min)	C13 (max)	C21 (max)	C22 (min)	C31 (min)	C32 (min)	C33 (min)	Q <sup>(a)</sup>
A1 (Avusturya)	0,773501	0,801729	0,949614	0,775267	0,54835696	0,581787	0,478683	0,897163	0,062551
A2 (Belçika)	0,798779	0,837814	0,962161	0,785895	0,54378506	0,582385	0,443577	0,906993	0,064476
A3 (İsviçre)	0,945228	0,713339	0,984499	0,782452	0,61179099	0,602779	0,539444	0,963978	0,099605
A4 (Çek)	0,846975	0,780397	0,910843	0,791742	0,59682035	0,609116	0,439477	0,867512	0,066065
A5 (Danimarka)	0,832694	0,767518	0,933207	0,734015	0,8166277	0,657957	0,569185	0,94187	0,126102
A6 (Finlandiya)	0,85523	0,836331	0,91551	0,725053	0,77310437	0,660982	0,527443	0,914672	0,117047
A7 (Macaristan)	0,891112	0,859645	0,88301	0,778012	0,61814344	0,639772	0,514342	0,915052	0,097953
A8 (İzlanda)	0,649382	1	0,770077	0,522222	1	1	1	0,972696	0,25402
A9 (Litvanya)	0,7378	0,944546	0,815453	0,668859	0,79666029	0,739409	0,694866	0,979034	0,152319
A10 (Letonya)	0,704764	0,776575	0,787932	0,635127	0,78131659	0,827828	0,765277	0,987782	0,133913
A11 (Hollanda)	0,823316	0,776575	1	0,849229	0,62931916	0,561865	0,400039	0,880249	0,067606
A12 (Norveç)	0,940567	0,7176	0,943216	0,727765	0,78618998	0,653805	0,542699	0,905143	0,116984
A13 (Yeni Zelanda)	0,82311	0,772208	0,898933	0,726355	0,65278634	0,629743	0,549561	0,872308	0,081788
A14 (Polonya)	0,895966	0,838566	0,969948	0,925808	0,56274337	0,496343	0,346275	0,805354	0,052553
A15 (Slovak Cumhuriyeti)	0,806019	0,882745	0,855135	0,725059	0,73694292	0,70763	0,560861	0,934508	0,120578
A16 (Slovenya)	0,698486	0,913254	0,814946	0,638745	0,72462418	0,75327	0,670515	1	0,121529
A17 (İsveç)	0,899201	0,779032	0,961902	0,792006	0,63728684	0,605576	0,546069	0,915564	0,10297
A18 (Türkiye)	1	0,909495	0,987372	1	0,42764491	0,478237	0,328754	0,782978	0,047275