

ARAŞTIRMA

Açık Erişim

Fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara: Almanya'da sürdürülebilir bir ulaştırma sektörü için strateji geliştirme



Franz Christian Vorweg¹, Ali Ebadi Torkayesh⁽¹⁾ ve Sandra Venghaus^{1,2*}

Özet

Arka plan Birçok ülke, Paris Anlaşması hükümleri uyarınca küresel ısınmayı sınırlandırmak için CO₂ emisyonlarını azaltmayı kabul etmiştir. Avrupa'da bu anlaşma, Avrupa Yeşil Anlaşması ve 55 için Uyum paketi kapsamında getirilen iklim hedefleriyle desteklenmektedir. Almanya çeşitli sektörlerde emisyonların azaltılması konusunda önemli ilerlemeler kaydetmiş olsa da, ulaştırma sektörü çok az gelişme göstererek kayda değer bir istisna olmaya devam etmektedir. Bu nedenle şu husus çok önemlidir.

Emisyon azaltma hedeflerine ulaşılmasına katkısını güçlendirmek için ulaştırma sektörünü yeniden değerlendirmek. Bu çalışmanın amacı, fosil yakıt temelli taşımacılıktan alternatif yakıtlara odaklanan daha sürdürülebilir bir moda geçiş için stratejiler belirlemek ve önermektir. Potansiyel yolları araştırmak için SWOT (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler) analizi ve çok kriterli karar analizi (MCDA) kullanılarak entegre bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Sonuçlar Alternatif yakıtların uygulanmasına yönelik temel faktörleri ortaya çıkarmak ve geçiş stratejileri geliştirmek amacıyla farklı paydaşlardan veri toplamak için iki aşamalı bir anket kullanılmıştır. Bulgular, sera gazı emisyonlarının azaltılması, kaynak rekabeti ve çevresel düzenlemelerin etkilerinin geçiş stratejilerinin değerlendirilmesinde en önemli faktörler olduğunu göstermektedir. Öte yandan, fosil yakıtların rekabet gücünün fiyat artışı yoluyla azaltılmasının yanı sıra teknik ve altyapısal destek en umut verici stratejilerdir.

Sonuçlar Ulaştırma sektöründeki sürdürülebilir dönüşüm, temelde fosil yakıtların yerine sürdürülebilir enerji taşıyıcıları olarak yenilenebilir yakıt alternatiflerinin kullanılmasından geçmektedir. Yenilenebilir yakıt alternatiflerinin kullanımı ve yaygınlaştırılması, 2030 yılına kadar %55'lik bir azaltım ve 2050 yılına kadar iklim nötrlüğüne ulaşma yolunda, ulaştırma sektörünün fosilsizleştirilmesinde en önemli rolü oynayacaktır. Ancak, fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması ve yenilenebilir yakıt alternatifleri ile değiştirilmesinde uygun geçiş stratejilerinin belirlenmesi k a p s a m lı bir değerlendirme çerçevesi gerektirmektedir. Bu çalışma, bütüncül bir değerlendirme çerçevesi geliştirerek buna katkıda bulunmaktadır.

Geçiş stratejilerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesine birden fazla paydaşın dahil edilmesi. Çeşitli stratejiler belirlenmiş olsa da, paydaşlar fosil yakıtların rekabet gücünün artan fiyatlar ve daha düşük sübvansiyonlar yoluyla azaltılmasının en iyi strateji olacağı konusunda hemfikiridir.

Anahtar Kelimeler Ulaşım, İklim-nötrlük, Alternatif yakıtlar, Sera gazları, Sürdürülebilir stratejiler, Almanya

*Yazışmalar:

Sandra Venghaus
venghaus@socecon.rwth-aachen.de

¹Karar Analizi ve Sosyo-Ekonomik Değerlendirme, İşletme ve Ekonomi
Fakültesi, RWTH Aachen Üniversitesi, 52072 Aachen, Almanya

²İklim ve Enerji Sistemleri Enstitüsü - Jülich Sistem Analizi, Forschungszentrum
Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich, Almanya

Arka plan

Almanya ve AB'de sürdürülebilir ulaşım

Ulaşımındaki son gelişmeler ve seyahat için harcanan zaman ve maliyetin azalmasıyla birlikte, seyahat oranı gözle görülür bir şekilde artmıştır [1-3]. Bu durum, Avrupa Birliği'nin (AB) ulaştırma sektöründeki işletmelerin sayısındaki artış gibi çeşitli gelişmelere de yansımıştır.



© Yazar(lar) 2024. **Açık Erişim** Bu makale, orijinal yazar(lar) ve kaynağa uygun şekilde atıfta bulunduğunuz, Creative Commons lisansına bir bağlantı verdiğiniz ve değişiklik yapıp yapılmadığını belirttiğiniz sürece, herhangi bir ortam veya formatta kullanımlar, paylaşım, uyarılma, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren Creative Commons Attribution 4.0 Uluslararası Lisansı altında lisanslanmıştır. Bu makalede yer alan görseller veya diğer üçüncü taraf materyalleri, aksi belirtilmediği sürece, makalenin Creative Commons lisansına dahildir. Materyal, makalenin Creative Commons lisansına dahil değilse ve kullanım amacınız yasal düzenlemeler tarafından izin verilmiyorsa veya izin verilen kullanımı aşılıyorsa, doğrudan telif hakkı sahibinden izin almanız gerekecektir. Bu lisansın bir kopyasını görüntülemek için <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> adresini ziyaret edin.

sektörü 2013 yılında 1,15 milyon iken 2018 yılında 1,32 milyona yükselmiştir [4]. Bir başka örnek de Almanya'da 2001 yılında 41.738 milyon olan kayıtlı araç sayısının 2021 yılında 48.249 milyona yükselmesidir [5]. Seyahat oranlarındaki üstel büyümeye ek olarak, fosil yakıtlarla çalışan yanmalı motorlar, Almanya'da sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılmasının önündeki başlıca engeli temsil etmektedir. Alman taşımacılığında net sıfır emisyonu ulaşmak için fosil yakıtlarla çalışan yanmalı motorların sayısının önemli ölçüde azaltılması gerekmektedir. Böyle bir azalma, elektrikli araçların (EV'ler) ve diğer alternatif yakıt tabanlı teknolojilerin pazarda yaygınlaştırılması da dahil olmak üzere çeşitli yollarla sağlanabilir. Ancak halihazırda çoğu ulaştırma modunda rekabetçi alternatif yakıt alternatifleri bulunmamaktadır. EA'lar karayolu yolcu taşımacılığı için önemli bir alternatif olarak görülse de, henüz yeterli pazar payına sahip değiller, bu nedenle Almanya ve AB'de alternatif yakıtları daha fazla teşvik eden strateji ve politikaların uygulanmasını zorunlu kılıyor [6].

Almanya, sürdürülebilir ulaştırma yolunda onlarca yıldır sürekli yeniliklere ve politika gelişimine sahne olmuştur. Sürdürülebilir ulaşım taahhüdü ilk olarak 1998 yılında Sosyal Demokrat Parti (SPD) ve Yeşiller arasındaki koalisyon anlaşmasının bir parçasıydı [7]. Anlaşmanın "Verimli ve Çevreye Duyarlı Ulaştırma Politikası" başlıklı bölümünde Alman ulaştırma sektöründe yapılması önerilen değişiklikler tanımlanmıştır. Bunlar arasında demiryolları ve toplu taşımacılığın rekabet gücünün artırılmasının yanı sıra çevreye duyarlı bir bireysel taşımacılık sisteminin geliştirilmesi hedefi de yer alıyordu. Daha sonra, her yeni koalisyon anlaşması iklimin korunmasını sağlamayı ve alternatif yakıtların kullanımı yoluyla sürdürülebilir taşımacılığı teşvik etmeyi taahhüt etmiştir [8-11].

2015'te Paris Anlaşmasını imzaladıktan sonra, Hristiyan Demokrat Birlik (CDU) ve SPD koalisyonu 2019'da yeni iklim değişikliği hedefleri ortaya koydu. Ulaştırma sektöründeki emisyonların azaltılmasıyla ilgili olarak, 2030 yılına kadar toplam emisyonların üçte bir oranında azaltılması hedefleniyordu [12]. Ancak Almanya'daki en yüksek mahkeme, yasanın anayasaya aykırı olduğuna karar verdi ve düzenlemenin yaşanabilir bir gelecek sağlamak için yeterince güçlü olmaması nedeniyle gelecek nesillerin özgürlüklerinin büyük ölçüde azalacağını açıkladı [13]. Bu kararın ardından, emisyonların 2030 yılına kadar %65 oranında azaltılarak toplam 438 milyon ton CO₂eşdeğerine düşürülmesi gerekiyordu [14]. 2020'de başlayan dönemde, ulaştırma sektöründeki sera gazı emisyonlarında kayda değer bir düşüş yaşanmış ve rakamlar 146 milyon tona ulaşmıştır. Bu düşüş öncelikle COVID pandemisinin etkisine bağlanabilir [15]. Bununla birlikte, federal hükümetin 2021 projeksiyon raporu, mevcut eğilimlerin devam etmesi halinde CO₂emisyonlarının 2030 yılına kadar 126 milyon tona ulaşacağını ileri sürmektedir;

Bu rakam 85 milyon tonluk hedeften oldukça yüksektir [15].

Almanya 2021 yılında iklim değişikliğine daha fazla önem verme taahhüdünde bulundu. Bu, koalisyon anlaşmasına, bununla ilgili yasaları yeniden işleme sözü olarak yansıdı [16]. Hükümet, koalisyon anlaşmasında 2030 yılına kadar 10-15 milyon elektrikli araç ve 1 milyon kamu şarj limanına ulaşma hedefi ile iddialı hedefler ortaya koydu. Ayrıca, demiryolu altyapısı için finansmanı artırmayı ve 2030 yılına kadar %75 elektrikli raylara ulaşmayı kabul etti. Emisyon azaltma hedefinin 2030 yılına kadar %65 olarak değiştirilmesinin ardından, Alman hükümeti 2045 yılına kadar otomobil nötrlüğüne ulaşmak gibi daha da iddialı bir hedef belirledi.

Alman ulaştırma sektörü şu anda küresel, AB ve ulusal politikaların karşılıklı etkileşiminden etkilenen ve sürdürülebilirlik ve sera gazı nötrlüğüne doğru önemli bir değişimi hedefleyen önemli bir kavşaktadır [17]. Almanya'nın uluslararası anlaşmalara bağlılığı, iklim değişikliğini ele alma ve sürdürülebilir taşımacılık uygulamalarını küresel ölçekte teşvik etme konusundaki derin kararlılığını göstermektedir. Almanya 2010'lu yıllarda alternatif yakıtların geliştirilmesine yönelik birçok AB projesinde yer almıştır. Bunlar arasında "Ulaşım için Temiz Güç: Avrupa Alternatif Yakıtlar Stratejisi", Alternatif Yakıtlar Altyapısının Yaygınlaştırılması Direktifi (AFIR) ve Yenilenebilir Enerji Direktifi II (RED II). Bu çabalar, Almanya'nın AB içerisinde sürdürülebilir ulaştırma için kapsamlı ve birbiriyle bağlantılı bir çerçeve oluşturulmasına olan bağlılığını göstermektedir. Ayrıca, Federal Ulaştırma Altyapı Planı (FTIP) 2030, Mobilite ve Yakıt Stratejisi (MFS), Ulusal Elektromobilité Geliştirme Planı ve biyoyakıt politikaları (kota kanunu ve sürdürülebilirlik yönetmeliği) gibi Almanya'daki yerel politikalar, fosil yakıtların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasına ve alternatif yakıtların kullanımının teşvik edilmesine yönelik bir yol çizilmesi açısından çok önemliydi. En önemlisi, Federal Emisyon Kontrol Yasası (BImSchG), özellikle biyoyakıtlar ve e-yakıtlara odaklanarak çeşitli alternatif yakıtlar için kotalar belirleyerek alternatif yakıtlara geçişi yönetmek üzere yeni düzenlemeler getirmiştir. Bu düzenlemeler, AB Yeşil Anlaşması ve bunu takip eden Fit for 55'in yürürlüğe girmesiyle daha da güçlendirilmiştir.

2019'da AB Yeşil Anlaşması'nın açıklanmasından bu yana AB, 2050 yılına kadar %90 oranında azaltılması amacıyla ulaştırma sektöründeki sera gazı emisyonlarının azaltılması da dahil olmak üzere çeşitli hedefler peşinde koşmaktadır. Bu çabayı 2020'de Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi izlemiştir; buna göre 2030'a kadar 10-15 milyon elektrikli araç olmalı ve 500 km'den az yolculuklar karbon-nötr hale gelmelidir. 2050 yılına kadar neredeyse tüm karayolu taşımacılığı karbon-nötr olmalıdır. Bu hedeflere ulaşmak için karbon fiyatlandırması ve vergilendirmesi

sürdürülebilir/alternatif yakıtlar için sübvansiyonların yanı sıra karbon-nötr araçların kullanımını desteklemeyi amaçlamıştır [18]. AB'yi fosil yakıtlardan arındırma çabalarını yoğunlaştırmak için Fit for 55 paketi mevcut politikalarda revizyonlar sağlamış ve düzenlenmiş bir şekilde sürdürülebilir bir geçişi mümkün kılmak için yeni girişimler başlatmıştır (Şekil 1).

Ulaştırma sektöründe belirlenen azaltım hedeflerine ulaşma gerekliliği ve çeşitli alternatif yakıtların kullanılabilirliği göz önünde bulundurulduğunda, bu hedeflerin daha yüksek kurumsal düzeylerde stratejik kararlar alınmadan karşılanamayacağı açıktır. Hedeflere ulaşılmasını desteklemek için ulaştırma sektörü, hafif ve ağır hizmet araçları dışındaki elektrikli araçlar için yenilenebilir elektrik ve hidrojen, gelişmiş biyoyakıtlar ve havacılık ve denizcilik uygulamaları için e-yakıtlar olarak da bilinen power-to-x (PtX) yakıtları gibi alternatif yakıtları öncelikli olarak kullanmayı amaçlamaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için alternatif yakıtların rekabet gücünü artıracak yeni düzenlemelerden bahsedilmektedir. Yeni düzenleyici çerçeveler oluşturmak veya mevcut paradigmaları güncellemek için, sektördeki temel zorlukları belirleyerek etkili stratejiler geliştirilmelidir. Ancak, sektördeki zorlukları belirlemek ve etkili stratejiler geliştirmek, güvenilir ve doğru araçlar gerektiren karmaşık ve çok boyutlu görevlerdir.

Ulaşım ve yakıt planlaması için çok kriterli analiz

Taşımacılık sektörünün stratejik planlaması ve değerlendirilmesi sıklıkla karmaşık problemlerin çözümünü gerektirmektedir ve bu problemler ancak güvenilir ve sofistike araçlar kullanılarak etkili bir şekilde ele alınabilir. Çok kriterli karar analizi (MCDA) metodolojileri, çeşitli çok boyutlu trans-port ve yakıt planlama problemlerinde başarıyla kullanılmıştır [20]. MCDA, paydaşların karmaşık ve çok boyutlu sorunları basit ve güvenilir prosedürlerle ele almalarını sağlar [21- 23]. MCDA yöntemleri temel olarak karar verme sürecindeki iki önemli göreve odaklanır: karar kriterlerinin ağırlıklandırılması ve karar alternatiflerinin sıralanması. Bu görevler için literatürde analitik hiyerarşik süreç (AHP) [24], analitik ağ süreci (ANP) [25], Karmaşık Halkla İlişkiler Değerlendirmesi (COPRAS) [26], ideal çözüme benzerliğe göre performans sıralama tekniği (TOPSIS) [27] ve oran analizine dayalı çok amaçlı optimizasyon (MOORA) [28] gibi çeşitli MCDA yöntemleri mevcuttur.

Yakın zamanda Yannis (2020), 1982 ve 2019 yılları arasında 50'den fazla makale için taşımacılıkta en son MCDA yöntemlerini gözden geçirmiştir. Toplanan makaleler, MCDA yöntemlerinin uygulandığı özel kullanım durumları için incelenmiştir. Bu incelemeler, MCDA yöntemlerinin genellikle yüksek düzeyde güvenilir oldukları için kullanıldığını ortaya koymuştur.



Şekil 1 55 paket için uyum [19]

ulaştırma modları, ulaştırma politikaları ve ulaştırma projeleri ile ilgili konuları ele almak için uygundur. Tablo 1, AB içinde ve dışında MCDA yöntemleri kullanılarak ulaştırma ve yakıtlar üzerine yapılan önceki ilgili çalışmaların daha geniş bir görünümünü sunmaktadır.

Hedefler ve katkılar

Bu çalışma, Alman ulaştırma sektöründe 2045 yılına kadar sera gazı nötrlüğüne doğru sürdürülebilir geçiş için strateji geliştirmeyi amaçlamaktadır. Ulaştırma sektöründe sera gazı emisyonlarını azaltmanın yüksek önceliği ve sektörde azaltma hedeflerine ulaşmada daha önce yaşanan başarısızlıklar nedeniyle, bu çalışma Almanya'daki önemli bir sürdürülebilirlik sorununu ele almaktadır.

Bu çalışma, bir SWOT (güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar, tehditler) analizi kullanarak, fosil ve alternatif yakıtların rollerini dikkate alarak ulaştırma sektöründe sürdürülebilir geçişi etkileyen önemli ve kritik faktörleri sistematik olarak tanımlamakta ve bu geçişi kolaylaştırmak için sürdürülebilir stratejiler önermektedir. Sürdürülebilir geçiş stratejilerinin önceliklendirilmesi, politika yapımcılar ve diğer paydaşlar için önemli ve zorlu bir görevidir. Önerilen tüm stratejiler geçiş katkıda bulunabilecek olsa da, 2030 ve 2045 hedeflerine ulaşmak için sınırlı kaynak ve zaman göz önüne alındığında bunların önceliklendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Geliştirilen stratejileri önceliklendirmek için, belirlenen faktörlerin göreceli önemlerini temsil eden ağırlık katsayılarını belirlemek önemlidir. Bu, önerilen stratejilerin önceliklendirilmesini kolaylaştıracak, en kritik hususlara gereken önemin verilmesini sağlayacak ve daha etkili ve hedefe yönelik karar alma sürecine yol açacaktır. Bu amaçla, bu çalışmada SWOT analizi, en kötü yöntem (BWM) ve TOPSIS kullanılarak Tip-2 Nötrosofik Sayılar (T2NN) ortamında entegre bir yaklaşım uygulanmaktadır. T2NN, yakın zamanda geleneksel Neutrosophic set'in (NS) bir uzantısı olarak geliştirilen ve paydaşların görüşlerini üç fonksiyon kullanarak daha güvenilir bir şekilde ifade etmelerini sağlayan gelişmiş bir belirsizlik modelleme setidir: doğruluk-üyeliliği, belirsiz-üyeliliği ve yanlışlık-üyeliliği. Bu sayede karar verme ortamı, karar vericilerin görüşlerini insan dili terimlerini kullanarak yansıtmak için daha sağlam ve doğru bir yapıya dayanır.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır. Bir sonraki bölüm geliştirilen yaklaşımı ve ön hazırlıklarını sunmaktadır. Daha sonra problem tanımlanmakta, bir vaka çalışması ana hatlarıyla açıklanmakta ve bunu duyarlılık ve karşılaştırmalı analiz takip etmektedir. Bu sonuçlara dayanarak, yönetimsel ve düzenleyici görüşler tartışılacaktır. Son olarak, son bölüm makalenin ana sonuçlarını, katkılarını ve gelecekteki araştırma yönlerini özetleyerek sona ermektedir.

Yöntemler

Aşağıdaki bölümde önerilen yaklaşım ve temel ön adımlar sunulmaktadır.

SWOT

SWOT analizi 1960'larda Harvard Business School'da Albert S. Humphrey tarafından tanımlanan bir stratejik planlama aracıdır. Güçlü ve Zayıf Yönler iç faktörlere atıfta bulunurken, fırsatlar ve tehditler başarıyı belirlemek için bir işletmeyi, bir kuruluşu veya bir savunucu grubu etkileyebilecek dış faktörlere atıfta bulunur. Bu dört faktör stratejik planlamanın dört farklı yönünü tanımlar ve stratejilerin daha net bir şekilde formüle edilmesine yardımcı olur. İki aşamalı bir süreci takip eden SWOT matrisi, karar alıcıların ve politika yapımcıların bir karara ilişkin önemli faktörleri belirlemelerine ve uygun stratejiler önermelerine olanak tanır. SWOT ilk olarak çoğunlukla iş problemlerine uygulanmış olsa da, uygulamaları uydu endüstrisi [54], sağlık yönetimi [55], enerji yönetimi [56], ulaşım planlaması [57] ve eğitim sistemleri [58] gibi farklı sektörlerde yayılmıştır.

SWOT'un uygulanması için ulaştırma alanındaki uzmanlardan veri toplamak amacıyla bir anket hazırlanmıştır. Matrisin her bir bölümü için uzmanlardan güçlü yönleri, zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri temsil eden faktörlere ilişkin cevaplarını vermeleri istenmiştir. Bir sonraki adımda, toplanan verilere dayanarak, uzmanların görüşleri, SWOT teması altında fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara geçiş katkıda bulunan faktörleri belirlemek için entegre edilmiştir. Ardından, geçişi kolaylaştırmak ve mevcut zorlukları ele almak için uzmanların faktörlerine dayalı olarak ilgili stratejiler geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen stratejilerin önceliklendirilmesi için belirlenen faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

BWM

BWM, karmaşık çok kriterli problemlerde karar kriterlerinin/faktörlerinin ağırlığını eski AHP yöntemine göre daha hızlı ve daha yüksek tutarlılıkla belirleyen iyi bilinen MCDA yöntemlerinden biridir [59]. Ar-Ge performans değerlendirmesi [6065], tedarik zinciri yönetimi [61-63], ulaşım planlaması [64], sağlık yönetimi [65], yakıt planlaması [66, 67] ve atık yönetimi [68].

SWOT analizinden belirlenen faktörlerin optimum önemini belirlemek için aşağıdaki adımlar atılmıştır:

Tablo 1 Karar verme teknikleri kullanılarak ulaştırma konusunda yapılan önceki çalışmaların özeti

Yazar(lar)	Odaklanma	Metodoloji	Örnek olay incelemesi	Çıkarımlar
Nassereddine ve Eskandari [29]	Toplu taşıma sistemlerinde müşteri memnuniyet düzeyinin değerlendirilmesi	AHP, PROMETHEE	İran	Sonuçlar, taksilerin sosyal ve teknik kriterler göz önünde bulundurulduğunda Tahran trans-port sistemi için en iyi seçenek olduğunu göstermektedir.
Erdoğan ve Sayın [30]	Yakıt seçimi	ANP, SWARA, MULTIMOORA	-	Yakıt kalitesi ve fiyatına göre çeşitli biyodizel bazlı alternatif yakıt seçeneklerinin değerlendirilmesi.
Trinh ve Le [31]	Ulaştırma sektöründe biyoyakıt potansiyelinin analiz edilmesi	SWOT	Vietnam	Vietnam iç kullanım için biyoyakıt üretebilir Ancak biyoyakıtların faydasını en üst düzeye çıkarmak için hükümetin desteği ve teşvikleri gereklidir.
de Aquino ve diğerleri [32]	Toplu taşıma hizmetlerinin kalitesinin değerlendirilmesi - Otobüs Hızlı Transit (BRT) sistemi	Bulanık TOPSIS	Brezilya	BRT sistemini değerlendirmek için güvenilirlik, konfor, rahatlık, bilgi sistemleri, teknik güvenlik, erişilebilirlik ve empati olmak üzere beş kalite boyutu kullanılmıştır. Teknik güvenlik en iyi performans gösteren boyut olmuştur.
Kheybari ve diğerleri [33]	Biyoyakıt üretim teknolojisi seçimi için karar kriterlerinin incelenmesi	BWM	-	Sosyal, ekonomik ve çevresel kategoriler altında 21 kriter belirlenmiştir. Sonuçlar, hava kirliliği, arazi kullanım değişikliği ve uzman işgücünün biyoyakıt üretim teknolojisi seçiminde en yüksek etkinliğe sahip üç kriter olduğunu göstermektedir.
D'Adamo ve diğerleri [34]	Avrupa'da sürdürülebilir ulaşım için biyometanın geliştirilmesi	SWOT, AHP	Avrupa	Sürdürülebilir araçlar için yakıt olarak doğal gazı uygulanabilir bir alternatif olan biyometanın gelişimi kesinlikle pazarın genişlemesini teşvik edecek hükümet destek programlarının uygulanmasına bağlıdır.
Kowalska-Pyzalska ve diğerleri [35]	Alternatif yakıtlı araç pazarlarının analizi	SWOT	Polonya	Alternatif yakıtlara ilişkin mevcut politika ve düzenlemelerin zayıf yönlerinin ve fırsatlarının belirlenmesi.
Bouraima ve diğerleri [36]	Bir demiryolu sisteminin geliştirilmesi	SWOT, AHP	Batı Afrika	SWOT matrisindeki 14 faktörün tanımlanması ve uygun stratejilerin önerilmesi.
Elavarasan ve diğerleri [37]	Yenilenebilir enerji gelişimi için itici güçlerin ve engellerin değerlendirilmesi	SWOT	Hindistan, Çin, İzlanda, İsveç ve ABD	Her bir ülkede yenilenebilir kaynakların geliştirilmesi için engeller olarak zayıflıkların ve tehditlerin yanı sıra itici güçler olarak güçlü yönlerin ve fırsatların belirlenmesi.
Ul-Haq ve diğerleri [38]	Elektrikli mobilité için teknik, finansal ve politik gerekliliklerin araştırılması	SWOT	Pakistan	Şarj istasyonu ağının iyileştirilmesi yoluyla elektrikli ulaşımın desteklenmesi için kayda değer bir mali bütçe ayrılması.
Uhunamure ve Shale [39]	Yenilenebilir enerji gelişiminin uygulanabilirliğinin araştırılması	SWOT	Güney Afrika	Rüzgar ve güneş enerjisi Güney Afrika'da en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.
Mostafaeipour ve diğerleri [40]	Yeşil hidrojen projelerinin geliştirilmesi	BWM, EDAS	Özbekistan	Nukus'ta tahmini 2000 kW'lık türbinler aracılığıyla yılda 71.752 ton hidrojen üretmek amacıyla rüzgar enerjisi kaynaklarından yeşil hidrojen üretimi için çeşitli istasyonların değerlendirilmesi.
Almutairi ve diğerleri [41]	Rüzgar enerjisi kullanarak hidrojen üretimi için istasyonlara öncelik verilmesi	SWARA, EDAS	Afganistan	Badahşan vilayetinin doğu ve kuzeydoğu bölgeleri teknik, ekonomik ve karbon ayak izi kriterleri göz önünde bulundurularak.

Tablo 1 (devam)

Yazar(lar)	Odaklanma	Metodoloji	Örnek olay incelemesi	Çıkarımlar
Al-Haidous ve diğerleri [42]	LNG tedarik zinciri esnekliğinin değerlendirilmesi	SWOT	Katar	Temiz taşıma modlarını destekleyerek LNG sevkiyatını en aza indirmek için stratejik ittifakların geliştirilmesi.
Ecer [43]	Bataryalı elektrikli araçların performans değerlendirmesi	SECA, MARCOS, MAIRCA, COCOSO, ARAS, ve COPRAS	-	Tesla Model S, 10 bataryalı elektrikli araç arasında en iyi seçenek olarak seçildi.
Narwane ve diğerleri [44]	Biyoyakıt endüstrisinin gelişim zorlukları	ISM-DEMATEL	Hindistan	Biyoyakıtların sürdürülebilir gelişiminin önündeki 38 engelin tanımlanması, bu engeller arasında hükümet desteğinin olmaması sürdürülebilir tedarik zinciri çözümleri için en önemli engeldir.
Abdel-Basset ve diğerleri [45]	Sürdürülebilir hidrojen üretim seçeneklerinin değerlendirilmesi	AHP, EDAS	-	Sonuçlara göre rüzgar elektrolizi süreci, sürdürülebilir hidrojen üretiminin sırrıdır.
Chai ve Zhou [46]	Alternatif havacılık yakıtları seçimi	Bulanık AHP, TOPSIS	-	Alg bazlı yakıtlar, petrol rafinasyonu, soya fasulyesi bazlı yakıt ve doğal gaz bazlı Fischer-Tropsch sentezi.
Mehta ve Mehta [47]	Enerji üretimi için alg biyodizeli	TOPSIS	-	Alg biyodizeli, farklı hammaddelerden elde edilen sekiz biyodizel arasında en iyi seçenektir.
Simic ve diğerleri [48]	Kentsel ulaşım sisteminin iklim değişikliğine etkisinin azaltılması için çevre politikalarının değerlendirilmesi	MEREC, MARCOS		Dört politika: a) bilgilendirici eylemler; b) mikro hareketlilik modları için sübvansiyonlar; c) arazi kullanım planlaması, yani sınırlı trafik bölgeleri; ve d) toplu taşıma modlarının optimizasyonu ve planlaması dikkate alınmıştır. Sonuçlar, arazi kullanım planlamasının en iyi politika olduğunu göstermektedir.
Jusakulvijit ve diğerleri [49]	İkinci nesil biyoyakıt üretiminin sürdürülebilirlik analizi	Delphi, AHP	Tayland	Dört boyutun 20 uzman tarafından değerlendirilmesi sonucunda ekonomik fizibilite en önemli boyut olarak belirlenmiş (%32,7), bunu çevresel etkiler (%25,1), teknik fizibilite (%24,9) ve sosyal etkiler (%17,3) izlemiştir.
Wang ve diğerleri [50]	Biyorafineri sahaları için biyoetanol tedarik zincirinin optimize edilmiş konum analizi	GIS, MCDM, MILP	Çin	Etkili sübvansiyonlar, zorunlu enerji ikamesi politikaları ve diğer çevresel düzenleyici tedbirler biyoetanol endüstrisinin gelişimini teşvik etmek için gereklidir.
Rahimirad ve Sadabadi [51]	Yeşil hidrojen için teknoloji geliştirme ve politika oluşturma	SWOT, TOPSIS, AHP, VIKOR	İran	En önemli öncelik, yeşil hidrojen teknolojisinin enerji politikalarının oluşturulmasındaki rolünün belirlenmesi, ardından deneysel projelerin yürütülmesi ve hidrojenin bir enerji kaynağı olarak kamuoyu tarafından kabul görmesinin teşvik edilmesidir.
Sun ve diğerleri [52]	Kentsel alanlarda hidrojen depolanması ve taşınması için risk analizi	DEMATEL, ANP	Çin	Personelin becerileri riskle ilgili en önemli faktör olarak belirlenirken, çevresel dalgalanma ve geri bildirimin etkinliği temel faktörler olarak kabul edilmiştir.
Olabi ve diğerleri [53]	Hidrojen üretim yollarının sürdürülebilirlik değerlendirmesi	WASPAS, TOPSIS, ELEŞTİRMEN, Shannon'un entropisi	-	Biyokütle gazlaştırma ve buhar metan reformasyonu diğer yollardan daha iyi performans göstermektedir. Hidrojenin birincil etkisi SKH'ler üzerindeki etkisi, temiz bir enerji kaynağı sunma (SKH 7: Uygun Fiyatlı ve Temiz Enerji) ve sera gazı emisyonlarını azaltma (SKH 13: İklim Eylemi) potansiyelinden kaynaklanmaktadır.

- **1. Adım.** Uzmanlar, SWOT analizini kullanarak karar kriterlerini/aktörlerini belirlemiştir. Ardından, en değerli ve en az değerli arzu edilen kriterleri belirlediler.
- **Adım 2.** Uzmanlar, en iyi kriter ile diğer kriterler arasındaki ikili karşılaştırmaları 1-9 arası bir ölçek kullanarak belirlemiş ve böylece en iyiden diğerine vektörü oluşturulmuştur. Bu ölçekte 1 en az ve 9 en çok kriteri temsil etmektedir. fligflest önem seviyeleri.
- **3. Adım.** Uzmanlar, daha iyi kriterler ile en kötü kriterler arasında 1-9 arası bir ölçek kullanarak ikili karşılaştırmalar yapmış ve daha iyiler-en kötüler vektörü oluşturmuştur.
- **Adım 4.** Optimum ağırlıklar ($w^*, w^*_1, \dots, w^*_n$) olabilir aşağıdaki optimizasyon modeli çözülerek hesaplanabilir (Eşitlikler 1-5):

ξ 'yi en aza indirir

tabi

$$\frac{w_{Best} - a}{w_j} B_i \leq \xi \quad \forall$$

$$\frac{w_{Kötü}}{w_j} - a_j \leq \xi \quad \forall$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \forall$$

j

$$w_j \geq 0 \quad \forall$$

Adım 5. Optimizasyondan elde edilen sonuçların tutarlılık oranı- zasyon modeli Eşitlik (6) temel alınarak belirlenebilir ve Tablo 2.

$$\text{Tutarlılık oranı} = \frac{\xi^*}{\text{Tutarlılık endeksi}} \quad (6)$$

T2NN-TOPSIS

Belirlenen faktörlerin önemini belirlemek için BWM kullanıldıktan sonra, uzmanlar görüşlerini aşağıdaki şekilde ifade edebilirler geliştirilen stratejileri önceliklendirmek. Daha iyi ve daha fazlası için

görüşlerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için T2NN kavramı kullanılmıştır.

T2NN'nin Ön Hazırlıkları

Bu bölümde, ilk olarak Abdel-Basset, Saleh [69] tarafından tanıtılan T2NN'nin temel kavramları, gereksinimleri ve işlemleri sunulmaktadır. Smarandache [70] tarafından tanıtılmıştır

Sezgisel bulanık kümenin bir genellemesi olarak NS. Son on yılda NS, çeşitli alanlardaki araştırmacıların güvenilir bulanık küme arayışları ile önemli ölçüde ilgisini çekmiştir. muğlak ve belirsiz bilgileri ele almak için araçlar

problem çözme durumlarında. T2NN'nin temelleri şunlardır aşağıda sunulmuştur.

Tanım 1 [69]▲ adresini sınırlı söylem evreni olarak ve $E[0, 1]$ 'i $E[0, 1]$ üzerinde üçgen NS şeklinde düşünün. $\tilde{H}$ ile gösterilen bir T2NN 'da aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\tilde{T} = (\Omega, \tilde{T}_H(\Omega), \tilde{I}_H(\Omega), \tilde{F}_H(\Omega) | \Omega \in \Diamond), \quad (7)$$

burada $\tilde{T} \sim (\Omega) : \Diamond \rightarrow E[0, 1]$, $\tilde{I} \sim (\Omega) : \Diamond \rightarrow E[0, 1]$ ve $\tilde{F} \sim (\Omega) : \Diamond \rightarrow E[0, 1]$. $\tilde{H}$ A T2NNS

$$\tilde{T}_H(\Omega) = (T_{(T)_H}(\omega), T_{(I)_H}(\omega), T_{(F)_H}(\omega))_{(H)}$$

$$\tilde{I}_H(\Omega) = (I_{(T)_H}(\Omega), I_{(I)_H}(\Omega), I_{(F)_H}(\Omega)) \quad \text{ve}$$

$\tilde{F}_H(\Omega) = (F_{(T)_H}(\Omega), F_{(I)_H}(\Omega), F_{(F)_H}(\Omega))$, doğruyu tanımlar, belirsizliği ve yanlışlık üyelikleri H içinde, sırasıyla. Üyelik parametreleri aşağıdaki koşulları sağlamalıdır Eşitlik (8)'deki straint:

$$0 \leq \tilde{T}_H(\Omega)^{(3)} + \tilde{I}_H(\Omega)^{(3)} + \tilde{F}_H(\Omega)^{(3)} \leq 3, \quad \forall \Omega \in \Diamond. \quad (8)$$

Tanım 1'e dayanarak, T2NN aşağıdaki biçimde değerlendirilir:

$$\tilde{H} = (T_{(T)_H}(\Omega), T_{(I)_H}(\Omega), T_{(F)_H}(\Omega),$$

$$I_{(T)_H}(\omega), I_{(I)_H}(\Omega), I_{(F)_H}(\Omega),$$

$$F_{(T)_H}(\omega), F_{(I)_H}(\omega), F_{(F)_H}(\omega))_{(H)}, \text{ makalenin geri kalanında.}$$

Tanım 2 [69]. İki T2NN'yi şu şekilde düşünelim:

$$\tilde{H}_1 = (T_{(T)_H}(\Omega), T_{(I)_H}(\Omega), T_{(F)_H}(\Omega), I_{(T)_H}(\Omega), I_{(I)_H}(\Omega), I_{(F)_H}(\Omega), F_{(T)_H}(\Omega), F_{(I)_H}(\Omega), F_{(F)_H}(\Omega))_{(H)},$$

$$\tilde{H}_{(2)} = (T_{(H)} \omega, T_{(I)} \omega, T_{(F)} \omega, I_{(T)} \omega, I_{(I)} \omega, I_{(F)} \omega, F_{(T)} \omega, F_{(I)} \omega, F_{(F)} \omega) \text{ ve } Z > 0.$$

Bu iki sayı için temel aritmetik işlemler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} \tilde{H}_{(1)} \oplus \tilde{H}_2 = & T(T_{(H\tilde{H}_{(1)}})(\Omega) + T(T_{(H\tilde{H}_{(2)}})(\Omega) - T(T_{(H\tilde{H}_{(1)}})(\Omega) \times T(T_{(H\tilde{H}_{(2)}})(\Omega), T(I)_{(H\tilde{H}_{(1)}})(\Omega) + T(I)_{(H\tilde{H}_{(2)}})(\Omega) \\ & - T(I)_{(H\tilde{H}_{(1)}})(\Omega) \times T(I)_{(H\tilde{H}_{(2)}})(\Omega), T(F)_{(H\tilde{H}_{(1)}})(\Omega) + T(F)_{(H\tilde{H}_{(2)}})(\Omega) - T(F)_{(H\tilde{H}_{(1)}})(\Omega) \times T(F)_{(H\tilde{H}_{(2)}})(\Omega), \\ & I_{T_{\tilde{H}_{(1)}}}(\Omega) \times I_{T_{\tilde{H}_{(2)}}}(\Omega), I_{I_{\tilde{H}_{(1)}}}(\Omega) \times I_{I_{\tilde{H}_{(2)}}}(\Omega), I_{F_{\tilde{H}_{(1)}}}(\Omega) \times I_{F_{\tilde{H}_{(2)}}}(\Omega), \\ & F_{T_{\tilde{H}_{(1)}}}(\Omega) \times F_{T_{\tilde{H}_{(2)}}}(\Omega), F_{I_{\tilde{H}_{(1)}}}(\Omega) \times F_{I_{\tilde{H}_{(2)}}}(\Omega), F_{F_{\tilde{H}_{(1)}}}(\Omega) \times F_{F_{\tilde{H}_{(2)}}}(\Omega), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \tilde{H}_{(1)} \otimes \tilde{H}_2 = & (T_{(T)_{(H)\tilde{(1)}}}(\Omega) \times T_{(T)_{(H)\tilde{(2)}}}(\Omega), T_{(I)_{(H)\tilde{(1)}}}(\Omega) \times T_{(I)_{(H)\tilde{(2)}}}(\Omega), T_{(F)_{(H)\tilde{(1)}}}(\Omega) \times T_{(F)_{(H)\tilde{(2)}}}(\Omega), \\ & T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) + T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) - T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) \times T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) + T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) + T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) \\ & - T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) \times T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega), T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega) + T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega) - T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega) \times T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega), \\ & T_{(T)_{(H)\omega}}(\Omega) + T_{(T)_{(H)\omega}}(\Omega) - T_{(T)_{(H)\omega}}(\Omega) \times T_{(T)_{(H)\omega}}(\Omega), T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) + T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) \\ & - T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega) \times T_{(I)_{(H)\omega}}(\Omega), T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega) + T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega) - T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega) \times T_{(F)_{(H)\omega}}(\Omega), \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \tilde{H} = & (1 - 1 - T_{T(\Omega)}^{(B)})^{(B)}_{H\bar{H}}, \quad 1 - 1 - T_{I_{H\bar{H}}}(\Omega)^{(B)}, \quad 1 - 1 - T_{F_{\bar{H}}}(\Omega)^{(B)}, \\ & I_{T_{H\bar{H}}}(\Omega)^{(B)}, \quad I_{(I_{H\bar{H}})(\omega)}^{(B)}, \quad I_{E_{H\bar{H}}}(\Omega)^{(B)}, \\ & F_{(T_{H\bar{H}})(\omega)}^{(B)}, \quad F_{I_{H\bar{H}}}(\Omega)^{(B)}, \quad (F)_{(F)}(\Omega)^{(B)}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tilde{H}^B = & \left(\begin{array}{ccc} T(T)_{\tilde{H}}^{(\Omega)^B}, & T_{H(\tilde{H})}^{(\Omega)^B}, & (I)_{\tilde{H}}^{(\Omega)^B}, \\ 1 - 1 - I_{T_{\tilde{H}}}^{(\Omega)^B}, & 1 - 1 - I_{\tilde{H}}^{(\Omega)^B}, & 1 - 1 - I_{\tilde{H}}^{(\Omega)^B}, \\ 1 - 1 - F_{T_{H(\tilde{H})}}^{(\Omega)^B}, & 1 - 1 - F_{\tilde{H}}^{(\Omega)^B}, & 1 - 1 - F_{\tilde{H}}^{(\Omega)^B} \end{array} \right). \end{aligned} \quad (12)$$

Tanım 3 [69]. Varsayalım ki $\tilde{H}^{(l)} = (T_{(H_l^1)}, T_{(H_l^2)}, T_{(H_l^3)}, T_{(H_l^4)}, T_{(H_l^5)}, T_{(H_l^6)}, T_{(H_l^7)}, T_{(H_l^8)}, T_{(H_l^9)}, T_{(H_l^{10})})$ bir T2NN koleksiyonudur ve $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_p)^T$ bunların ağırlık vektörüdür, $\gamma_i \in [0, 1]$ ve $\sum_{i=1}^p \gamma_i = 1$. Bir T2NN ağırlıklı ortalama alma (T2NNWA) operatörü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$T2NNWA(\tilde{H}_1, ..., \tilde{H}_{l_1}, ..., \tilde{H}_{p_1}) = \Gamma_{(1)}\tilde{H}_1 \oplus ... \oplus \Gamma_{(l)}\tilde{H}_{(l)} \oplus ... \oplus \Gamma_{(p)}\tilde{H}_{(p)} = \bigoplus_{l=1}^p \Gamma_{(l)}\tilde{H}_{(l)} \Big|_{\Gamma_{(l)}\omega} \\ = (1 - T_T \Big|_{H_l}, 1 - T_I \Big|_{\tilde{H}_{l_1}}, 1 - T_F \Big|_{H_l}) = (I_{H_l}(\Omega) \Big|_{\Gamma_l}, I_{\tilde{H}_{l_1}}(\Omega) \Big|_{\Gamma_l}, I_{H_l}(\Omega) \Big|_{(\Gamma_l)_l}) \\ = (F_T(\Omega) \Big|_{H_l}, F_I(\Omega) \Big|_{\tilde{H}_{l_1}}, F_F(\Omega) \Big|_{H_l}). \quad (13)$$

aBW	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cl	0	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

[illegible]

AB ve üye ülkeleri, trans-port da dahil olmak üzere tüm sektörlerde sera gazı emisyonlarını azaltmayı planlamaktadır. Almanya, 1950'lerin ortalarından bu yana sürdürülebilirlik ve geçiş sürecine öncülük eden ülkelerden biri olarak

düşük karbonlu bir ekonomiye geçiş sürecinde, sera gazı emisyonu temelli zorlukları iyi bilinen *Ener-giewende* (Enerji Dönüşümü) çerçevesi aracılığıyla ele almaktadır.

Şekil 2, son otuz yılda AB'nin ana sektörlerindeki ve Almanya'daki ulaştırma sektöründeki sera gazı emisyonlarına genel bir bakışı göstermektedir. İstatistiklere göre, AB ulaştırma sektörü bu dönemde sera gazı emisyonlarında genel bir artış yaşamış olsa da, Alman ulaştırma sektörü emisyonlarda hafif bir azalma sağlamayı başarmıştır. Ancak bu azalma, 1990'lı ve 2000'li yıllarda uygulamaya konulan politikalarla öngörülen hedeflerin gerisinde kalmıştır. Başta ulaştırma sektörü olmak üzere tüm sektörlerde emisyonların azaltılamaması, İklim Eylem Planı 2050'nin hazırlanmasına yol açmıştır. İklim Eylem Planı, 2030 yılına kadar (1990 yılına kıyasla) tüm sektörlerde sera gazı emisyonlarının %55, ulaştırma sektöründe %40-42, enerji sektöründe %61-62, bina sektöründe %66-67, ağır sanayi sektöründe %49-51 ve tarımda %31-34 oranında azaltılması ve 2050 yılına kadar neredeyse sıfıra yakın emisyon (% 80-95 azaltım) sağlanması için Almanya'nın attığı en önemli adımlardan biriydi. Yakın zamanda Almanya bu planı güncellemiş ve genel azaltım hedefini 2030'da %65'e ve 2045'te iklim-nötrlüğe çıkararak daha katı azaltım hedefleri koymuş, böylece AB'nin 2050 hedefinin ötesine geçmiştir. Zorlukların üstesinden gelmek ve 2030 ve 2045 emisyon standartlarını karşılamaya doğru ilerlemek için ulaştırma sektörüne özel önem verilmektedir.

Bu bağlamda, biyoyakıtlar, elektrikli araçlar ve diğer alternatif yakıtlarla ilgili olanlar da dahil olmak üzere çeşitli Alman politikaları ve diğer AB politikaları, farklı yollarla sera gazı azaltma hedeflerine ulaşmaya hizmet etmektedir. Fosil yakıtlar ve türevleri AB'deki sera gazı emisyonlarının büyük bir bölümünü oluşturduğundan, Alman ve AB politikaları bunları azaltmak için sürdürülebilir alternatif yakıtların benimsenmesine öncelik vermektedir. Ancak geçiş süreci, bu sürdürülebilir alternatif yakıtların karmaşık tedarik zincirlerinden etkilenmektedir. Bu nedenle, ulaştırma sektöründe sera gazı azaltım hedeflerine ulaşılması sağlam, dikkatle planlanmış ve iyi tasarlanmış stratejiler gerektirmektedir.

Mevcut sistemin güçlü yönlerinin ve zorluklarının belirlenmesi, fosil yakıtlara dayalı ulaştırma sektöründen alternatif yakıtlara geçiş için etkili stratejilerin tasarlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, bu çalışma Alman ulaştırma sektöründe alternatif yakıtlara geçişi analiz etmek için uzman temelli bir araç uygulamaktadır. Bu amaçla, ulaştırma sektöründeki mevcut gelişmeleri incelemek için bir SWOT analizi kullanılmıştır. Güçlü yönler, fırsatlar, zayıf yönler ve tehditlerle ilgili belirlenen faktörler karar vericilerin, yöneticilerin ve politikacıların sürdürülebilir geçişi kolaylaştıracak stratejiler önermesini sağlayabilir. Önerilen tüm stratejiler ilgili ve uygulanabilir olsa da, üst düzey

Tablo 3 Ağırlık değerlendirmesi için T2NN dilbilimsel terimler

Dilbilimsel terimler	T2NN
Kesinlikle düşük	< (0.1,0.1,0.1),(0.8,0.9,0.9),(0.85,0.7,0.6)>
Çok düşük	< (0.2,0.2,0.1),(0.65,0.8,0.85),(0.75,0.8,0.7)>
Düşük	< (0.35,0.35,0.1),(0.5,0.75,0.8),(0.65,0.75,0.65)>
Orta düşük	< (0.5,0.3,0.5),(0.5,0.35,0.45),(0.55,0.3,0.6)>
Orta	< (0.4,0.45,0.5),(0.4,0.45,0.5),(0.45,0.4,0.45)>
Orta yüksek	< (0.6,0.45,0.5),(0.25,0.15,0.25),(0.3,0.25,0.2)>
Yüksek	< (0.7,0.75,0.8),(0.2,0.2,0.25),(0.2,0.15,0.15)>
Çok yüksek	< (0.8,0.9,0.9),(0.15,0.15,0.2),(0.15,0.1,0.1)>
Kesinlikle yüksek	< (0.95,0.9,0.95),(0.1,0.1,0.05),(0.05,0.05,0.05)>

İlgili sektörlerdeki yöneticiler ve politikacılar, kaynak kısıtları nedeniyle bazı stratejilere öncelik vererek kritik kararlar almak zorundadır. Dolayısıyla, bu çalışma stratejilerin önceliklendirilmesini bir MCDA yaklaşımı kullanarak ele almaktadır. Şekil 3, ulaştırma sektöründe strateji geliştirme ve değerlendirme için önerilen yaklaşımın akış şemasını sunmaktadır.

sektör.

Uzmanlar paneli

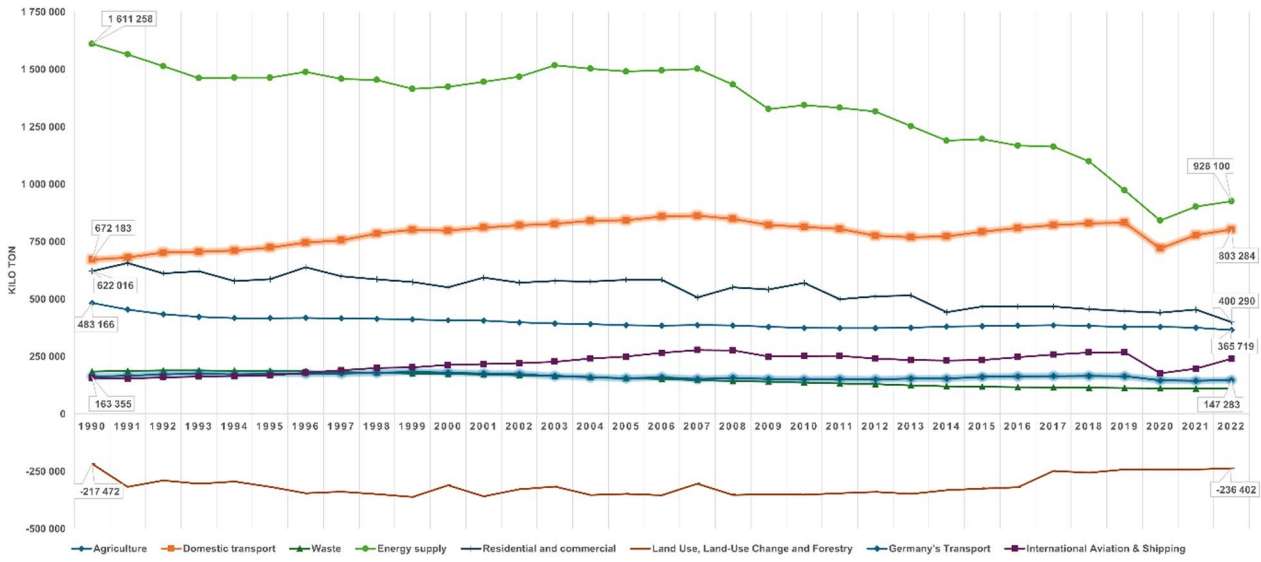
SWOT ve MCDA analizleri için ulaştırma, çevre ve iklim bilimleri ve enerji alanlarından beş uzmandan oluşan bir uzmanlar paneli oluşturulmuştur. Bunların her birinin kısa bir profili aşağıda verilmiştir:

- Uzman 1 (E1): Yüksek lisans derecesine ve enerji sistemi modellemesinde beş yıllık deneyime sahip erkek;
- Uzman 2 (E2): Yüksek lisans derecesine sahip ve yakıt ve ulaşım planlaması alanında iki yıllık deneyime sahip erkek;
- Uzman 3 (E3): Yüksek lisans derecesine ve ulaşım planlaması alanında bir yıllık deneyime sahip kadın;
- Uzman 4 (E4): Doktora derecesine sahip ve iklim bilimi ve enerji planlamasında beş yıllık deneyime sahip erkek;
- Uzman 5 (E5): Yüksek lisans derecesine ve teknoloji değerlendirme alanında üç yıllık deneyime sahip erkek.

Temel faktörler ve stratejiler

İlk aşamada, alternatif yakıtların rolüne odaklanarak uzmanların Almanya'nın sürdürülebilir bir ulaştırma sektörüne geçişine ilişkin görüşlerini değerlendirmek üzere bir anket tasarlanmıştır. Uzmanlardan bir SWOT matrisi doldurmaları ve güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditlerden oluşan dört sütuna ilişkin görüşlerini bildirmeleri istenmiştir. Şekil 4, toplanan verilere dayanan SWOT'u göstermektedir.

Uzmanların geçiş sürecine ilişkin görüşlerine dayanarak, Almanya'da alternatif yakıtlarla sürdürülebilir bir ulaştırma sektörüne geçişin üç temel güçlü yönü



Şekil 2 AB ve Almanya'da otuz yıl boyunca sera gazı emisyonları (CO2 eşdeğeri) [78]

Bu yakıtların kamuoyunda yüksek oranda kabul görmesi, önemli ölçüde istihdam yaratma potansiyeli ve akademik kurumlar ve otomobil üreticileri tarafından alternatif yakıtlar konusunda devam eden Ar-Ge çalışmaları.

Aynı şekilde uzmanlar, Almanya'nın yüksek sera gazı emisyonları ve bu emisyonların azaltılmasında daha önceki hedeflere ulaşamamasıyla ilgili bazı zorlukların üstesinden gelmesi gerektiğini vurgulayarak zayıf yönler odaklanmıştır. Ayrıca, fosil yakıtlara yönelik sübvansiyonlar ve imalat şirketlerinin yanı sıra yakıt şirketlerinin güçlü lobi faaliyetleri de ulaştırma sektörünün diğer zayıf yönleridir. Son olarak, alternatif yakıtlar için alt yapı eksikliği, yenilenebilir enerjinin mevcudiyetinin değişkenliği ve yakıtlar konusunda uzmanlık eksikliği geçiş için üç teknik zayıflıktır.

Mevcut ulaştırma filusunun fosilleştirilmesi ve emisyon azaltma hedeflerine ulaşılması, alternatif yakıtların kullanımına ilişkin Alman ve AB düzenlemelerine uyum sağlanması, alternatif yakıtların uzun vadeli verimliliği ve uygulanabilirliği ve imalatçı şirketlerin yeni yakıtları benimsemeye teşvik edilmesi, ulaştırma sektöründe sürdürülebilir bir geçiş için Ger-many'daki en önemli fırsatlardır.

Yakıt üretimi için artan arazi kullanımı (örneğin biyoyakıtlar), alternatif yakıt üreticileri ve diğer endüstriler arasındaki kaynak rekabeti, ilgili endüstrideki yapısal değişiklikler ve yüksek geçiş maliyetleri, kaynakların oynaklığı nedeniyle alternatif yakıt tedarik zincirlerinde olası aksamalar ve alternatif yakıtların uygulanmasına ilişkin yüksek beklentiler, sürdürülebilir geçişin önündeki başlıca tehditlerdir.

Uzmanlar tarafından belirlenen SWOT faktörleri, alternatif yakıtların benimsenmesine yönelik desteğin artırılması ve fosil yakıtlara yönelik desteğin azaltılması ihtiyacına ışık tutmaktadır.

SWOT analizi dört tür strateji üretir: mevcut güçlü yönler dayalı olarak fırsatları değerlendirmek için güç-fırsatlar (SO) stratejileri, mevcut güçlü yönleri kullanarak tehditleri azaltmak için güç-tehditler (ST) stratejileri, olası zayıf yönleri dikkate alarak fırsatların faydalarını elde etmek için zayıflık-fırsatlar (WO) stratejileri ve mevcut veya potansiyel zayıf yönleri dikkate alarak tehditleri azaltmak için zayıflık-tehditler (WT) stratejileri (Şekil 5). Bu temelde aşağıdaki stratejiler tanımlanabilir:

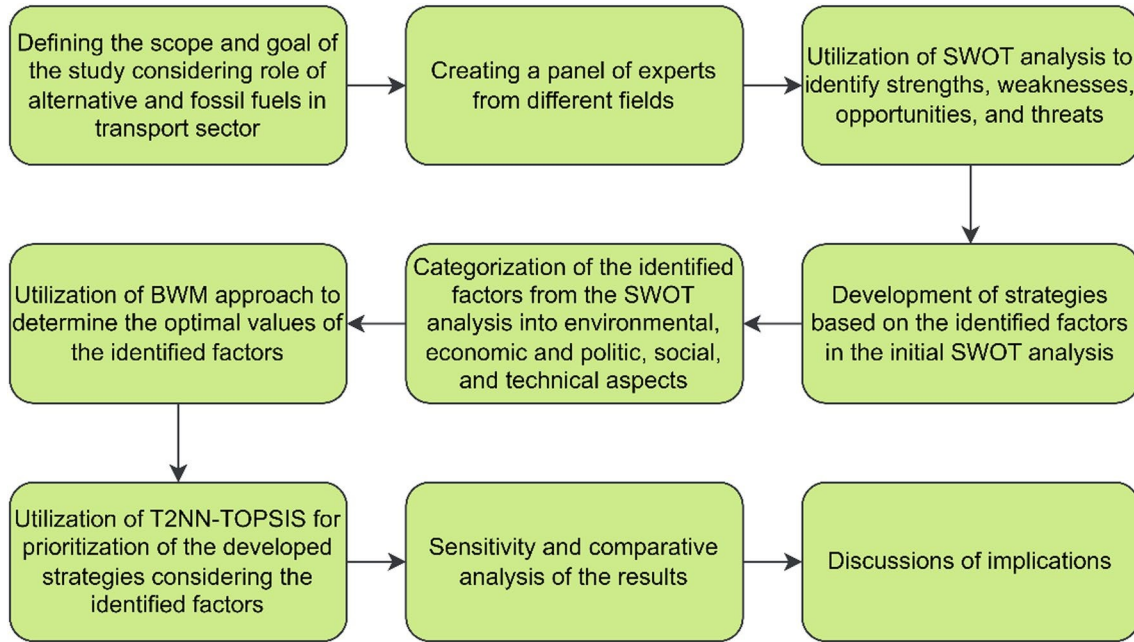
SO 1: Artan fiyatlar yoluyla fosil yakıtların rekabet gücünün azaltılması. Bu, fosil yakıtlara yönelik sübvansiyonların azaltılması, vergilerin artırılması veya emisyonlar için iklim tazminatı ödemelerinin artırılması yoluyla gerçekleştirilebilir.

SO 2: Alımlarda parasal teşvikler, vergi muafiyetleri, şirketlere sübvansiyonlar, ücretsiz otopark ve yakıt ikmali yoluyla alternatif yakıtların rekabet gücünün artırılması.

ST 1: Almanya'da iklim sorunlarıyla mücadelede alternatif yakıtların gerekliliğini anlatmak için bir kamu kampanyası başlatılması.

ST 2: Alternatif yakıtların rekabet gücünün artırılması, araçlar için özel şeritler ve park alanları ile limanlarda ve havaalanlarında sırasıyla siflipler ve uçaklar için öncelik gibi mali olmayan teşviklerle sağlanabilir.

WO 1: Yakıt verimliliğini artırarak alternatif yakıtlar alanındaki teknolojik gelişmeleri kolaylaştırmak. WO 2: Fosil yakıtların rekabet gücünün, yakıt verimliliğinin azaltılması gibi sakıncalar getirerek azaltılması



Şekil 3 Önerilen yaklaşımın akış şeması

az sayıda yakıt ikmal istasyonu ve fosil yakıt bazı araçlar için karlılık bölgelerinin oluşturulması.

WT 1: Yakıt ikmal istasyonlarının iyileştirilmesi yoluyla alternatif yakıtların kullanımına yönelik altyapı kapasitelerinin güçlendirilmesi.

WT 2: Alternatif yakıtların çoğunun üretimi için yenilenebilir elektriğin önemli rolü göz önünde bulundurularak, yenilenebilir elektrik üretimi için elektrik şebekesinin iyileştirilmesi.

SWOT faktörlerinin ağırlık katsayıları

Toplanan SWOT faktörlerine dayanarak (Şekil 4), faktörleri her biri kritik bir yönü ele alan farklı gruplara ayırmak için bir sürdürülebilirlik çerçevesi geliştirilmiştir. Bu bağlamda, faktörler çevresel, eko- nomik ve düzenleyici, sosyal ve teknik kategorilere ayrılmıştır.

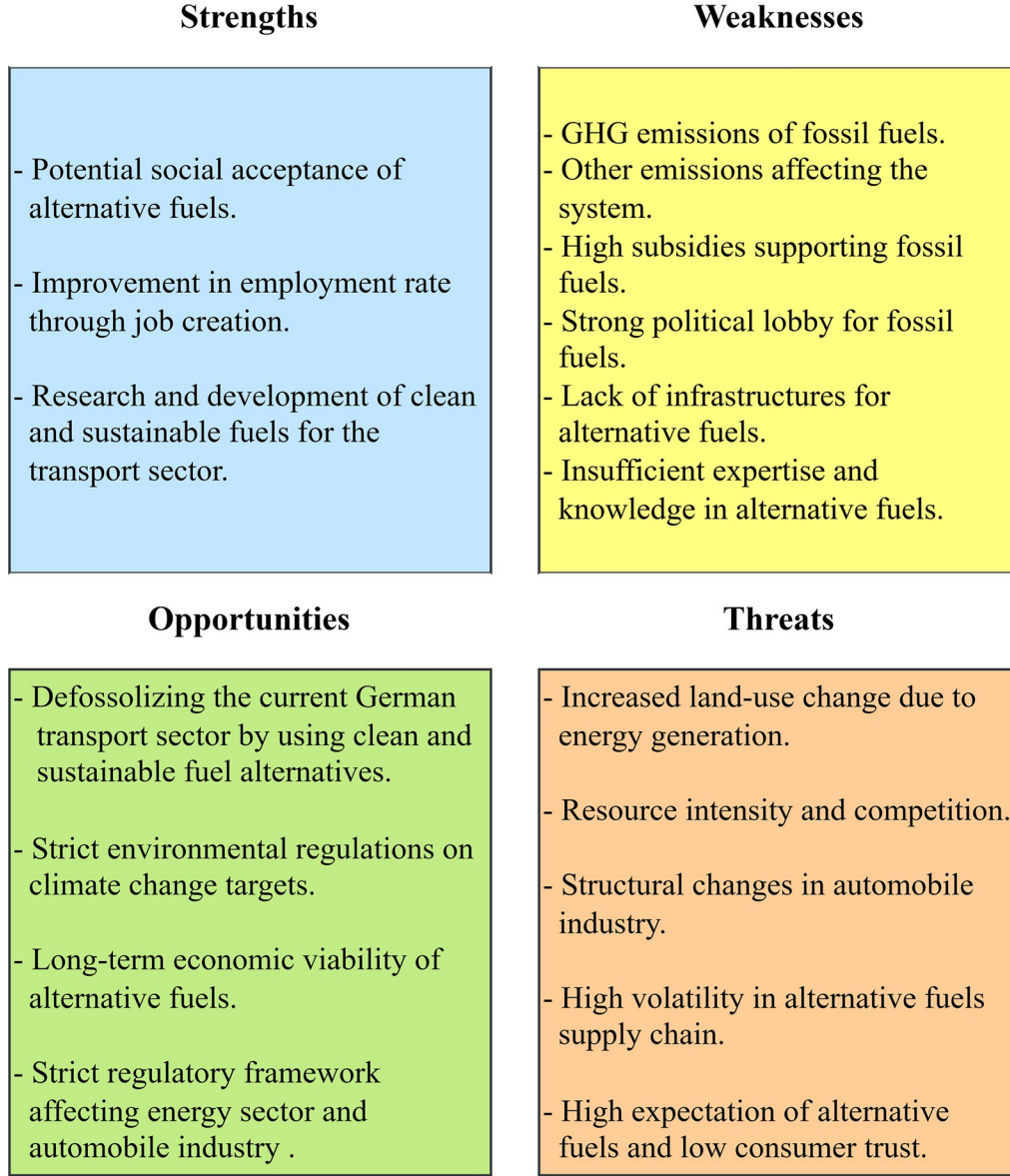
Çevresel (C1) kategorisi sera gazı emisyonu azaltma potansiyelini (C11), yerel emisyon azaltma potansiyelini (duman, su ve toprak kirliliği) (C12), geleneksel yakıtları alternatif yakıtlarla değiştirerek mevcut filonun fosilleşmesini (C13), enerji üretimi ve yakıt üretimi için arazi kullanımını (C14), kaynak rekabetini (C15) ve çevresel düzenlemelerle uyumluluğu (C16) içermektedir.

Ekonomik ve düzenleyici (C2) kategorisi, alternatif yakıtların uzun vadeli ekonomik uygulanabilirliğini (C21), yakıt üretimi ve otomotiv endüstrileri üzerindeki yapısal etkileri (C22), yakıt tedarik zincirindeki bozulma potansiyelini (C23), fosil yakıtlara yönelik sübvansiyonların etkilerini (C24), otomotiv endüstrisini geçiş sürecine teşvik etmeye yönelik yasa ve yönetmeliklerin etkilerini (C25) ve ulaştırma lobisinin alternatif yakıtlar üzerindeki etkilerini (C26) ele almaktadır.

Sosyal (C3) kategorisi alternatif yakıtların potansiyel sosyal kabulünü (C31), alternatif yakıtların faydalarına ilişkin kamu beklentilerini (C32) ve potansiyel iş yaratımını (C33) içermektedir.

Teknik (C4) kategorisi, alternatif yakıtlar için altyapı eksikliğinin (C41), yakıt üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersizliğinin (C42), Ar-Ge'nin alternatif yakıtlar üzerindeki etkilerinin (C43) ve alternatif yakıtlara ilişkin bilgi ve uzmanlık eksikliğinin (C44) etkilerini kapsamaktadır.

Faktörlerin kategorize edilmesinin ardından, belirlenen faktörlerin ağırlık katsayılarını belirlemek üzere uzmanlar tekrar davet edilmiştir. BWM i ç i n girdi verilerini toplamak üzere uzmanlardan faktörler arasında ikili karşılaştırmalar için 1-9 ölçeğini kullanmaları istenmiştir. Bu amaçla, uzmanlar ilk olarak faktörlerin ağırlık katsayılarını belirlemek için ölçeği kullanmıştır.



Şekil 4 SWOT matrisi

kategorilerin katsayıları. Bu bağlamda, uzmanlar en iyi ve en kötü kriterlere karar vermiş; ardından en iyiden diğerlerine ve diğerlerinden en kötüye vektörleri oluşturulmuştur. Analizimizde tüm uzmanların eşit öneme sahip olduğu kabul edilmiştir. Tablo 4'te uzmanların girdileri ve faktörlerin hesaplanan ağırlık katsayıları sunulmaktadır. Sonuçlar, çevresel kategorinin 0,47 değeriyle en önemli kategori olduğunu ve teknik kategorinin 0,12 değeriyle en az önemli kategori olduğunu göstermektedir.

Bir sonraki aşamada, her bir kategori için BWM hesaplamasına girdi sağlamak üzere uzmanlara danışılmıştır.

Tablo 5, uzmanların en iyi kriter, en kötü kriter ve girdi ağırlık vektörleri hakkındaki görüşlerini göstermektedir. Son olarak, çevre faktörlerinin ortalama yerel ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Çevre kategorisinin ağırlık katsayısı ve yerel katsayılar kullanılarak çevresel faktörlerin global ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Tablo 5'teki sonuçlara göre, sera gazı emisyonlarının azaltılması (C11) ve kaynak rekabeti (C15) çevre kategorisindeki en önemli faktörlerdir.

Benzer şekilde, eko- nomik ve düzenleyici faktörlerin yerel ve küresel ağırlık katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar

	Strengths	Weaknesses
Opportunities	SO strategies: - Reducing competitiveness of fossil fuels through increased price (low subsidies) (A7) - Increasing competitiveness of alternative fuels through monetary incentives (A8)	WO strategies: - Facilitating technical advancements in alternative fuels (A1) - Reducing competitiveness of fossil fuels through lower technical support (A6)
Threats	ST strategies: - Starting a social campaign on necessity of alternative fuels to address climate change challenges in the transport sector (A5) - Increasing competitiveness of alternative fuels through non-monetary incentives (A3)	WT strategies: - Improving required infrastructures for alternative fuels (A2) - Improving power grid and supporting renewable electricity generation (A4)

Şekil 5 Ulaştırma sektöründe sürdürülebilir bir geçiş için stratejiler

Tablo 6'da alternatif yakıtlar için uzun vadeli ekonomik uygulanabilirliğin (C21) ve fosil yakıtlar için yüksek sübvansiyonların en önemli faktörler olduğu ve tedarik zincirindeki bozulma potansiyelinin ekonomik ve düzenleyici kategoride en az önemli olduğu görülmektedir.

Tablo 7 sosyal faktörler için girdi verilerini ve nihai sonuçları göstermektedir. Sonuçlara göre, alternatif yakıtların toplumsal kabulü sosyal kategorideki en önemli faktördür ve potansiyel iş yaratma en az önemli faktördür.

Tablo 8 teknik faktörler için girdi verilerini ve nihai sonuçları sunmaktadır. Sonuçlara göre, yakıt üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının yetersizliğinin etkileri en önemli faktör olurken, bilgi ve uzmanlık eksikliği en az önemli faktör olarak belirlenmiştir.

Her bir uzmanın ağırlık katsayılarını daha iyi görselleştirmek için Şekil 6'da her bir uzmanın ağırlık katsayılarının yanı sıra küresel ağırlık katsayıları da gösterilmektedir. Küresel ağırlık katsayıları, sera gazı azaltım potansiyelinin (C11), kaynak rekabetinin (C15), çevresel düzenlemelerle uyumluluğun (C16) ve potansiyel sosyal

alternatif yakıtların kabulü (C31) en önemli faktörlerdir.

Stratejilerin önceliklendirilmesi

SWOT stratejilerini faktörlere göre önceliklendirmek için uzmanlar, geliştirilen stratejilerin faktörleri ele alma performansını T2NN-TOPSIS kullanarak değerlendirmeye davet edilmiştir. Bu amaçla, Tablo 3'teki T2NN ölçeğini kullanarak gerekli girdi verilerini toplamak için bir anket kullanılmıştır.

Tablo 9, uzmanlardan toplanan verileri, her bir hücre beş uzmanın tümü tarafından sağlanan performans puanlarını temsil edecek şekilde birleştirilmiş bir biçimde sunmaktadır. Tüm uzmanların eşit öneme sahip olduğu düşünüldüğünden, T2NN skor değerleri kullanılarak birleştirilmiş bir karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 10). Daha sonra, birleştirilmiş karar matrisi normalize edilmiştir (Tablo 11). BWM tarafından hesaplanan ağırlık katsayıları kullanılarak ağırlıklı bir karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 12'de gösterilmiştir. T2NN-TOPSIS'in nihai sonuçları Tablo 13'te sunulmuştur.

Sonuçlara göre, artan fiyatlar yoluyla fosil yakıtların rekabet gücünün azaltılması, fosil yakıtların

Tablo 4 Ana kategoriler için BWM sonuçları

Uzmanlar	Kriter		C1	C2	C3	C4
E1	En iyisi	C1	1	3	5	4
	En kötüsü	C3	5	3	1	4
E2	En iyisi	C1	1	7	5	9
	En kötüsü	C4	9	5	7	1
E3	En iyisi	C2	4	1	9	6
	En kötüsü	C3	6	9	1	4
E4	En iyisi	C1	1	3	4	3
	En kötüsü	C3	4	2	1	2
E5	En iyisi	C1	1	4	2	4
	En kötüsü	C4	9	4	8	1
Ağırlık			0.47	0.26	0.15	0.12

ve alternatif yakıtların rekabet gücünün parasal ve parasal olmayan teşviklerle artırılması, Almanya'da sürdürülebilir bir ulaştırma sektörüne geçiş için en etkili ilk dört strateji olarak belirlenmiştir. Öte yandan, iklim değişikliği sorunlarının azaltılması için alternatif yakıtların gerekliliğinin vurgulanmasına yönelik kamu kampanyalarının başlatılması, vaka çalışmamızda en az tercih edilen ve en etkisiz strateji olarak belirlenmiştir.

Duyarlılık analizi: yönetimsel içgörüler

Bu çalışmanın önemli bir katkısı, sürdürülebilir ulaştırmaya geçiş ve sera gazı nötrlüğüne ulaşma stratejilerini değerlendirmek ve önceliklendirmek için bir sürdürülebilirlik çerçevesinin geliştirilmesidir. SWOT faktörlerinin ekonomik ve düzenleyici, çevresel, sosyal ve teknik gruplara ayrılması, uzmanların geliştirilen stratejilerin uygunluğu konusunda geniş ve gelişmiş bir anlayışa sahip olmasını sağlamıştır. Bu bağlamda, geçiş stratejilerinin nihai önceliklendirme sırası da SWOT faktörlerinin ağırlık katsayılarından etkilenmiştir. Bu amaçla, GZFT faktörlerinin ağırlık katsayısındaki olası değişikliklerin ve her bir kategoride geliştirilen stratejilerin etkilerini ölçmek için yönetsel bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

Şekil 7, ilk sonuçlara ve bireysel kriter kategorilerine dayalı olarak stratejilerin farklı sıralama düzenlerini göstermektedir. Sonuçlara göre, A7 stratejisi ekonomik ve çevresel kategorilerde en iyi performansa sahiptir. Ancak A7, teknik ve sosyal kategorilerde biraz daha düşük performans göstererek sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır. Her iki kategoride de A8 en iyi performans gösteren strateji olarak seçilmiştir. A8'in aksine, A6 sadece çevre kategorisinde iyi performans göstermiş, ekonomik kategoride ise dördüncü sıraya gerilemiştir.

kategorisinde birinci, sosyal kategoride beşinci ve teknik kategoride altıncı olmuştur. A7'nin ilk sonuçlardaki en iyi performansı eko- nomik ve çevresel kategorilerin yüksek ağırlık katsayılarına bağlanabilir. Öte yandan, A2 ilk sonuçlarda beşinci strateji olarak yer almasına rağmen, teknik kategoride ikinci sıraya yerleşerek en iyi performansı göstermiştir. İlk sonuçlarda en az etkili strateji olarak sıralanan A5, sosyal kategoride daha iyi performans göstermiştir. Bu gelişme, A5'in alternatif yakıtlar ve iklim değişikliği sorunlarıyla ilgili bir sosyal kampanyaya odaklanmasından kaynaklanmıştır. Stratejilerin çeşitli kategoriler altındaki sıralama düzenlerinde kalan farklılıklar Şekil 7'de gösterilmektedir.

Karşılaştırmalı analiz: metodolojik içgörüler

Uygulanan yaklaşımın sonuçlarını T2NN-WASPAS [79], T2NN-CODAS [80] ve T2NN-MARCOS [48] ile karşılaştırmak için karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır.

Ulaştırma sektöründe sürdürülebilir geçiş için en etkili stratejiyi bulmak amacıyla üretilen sonuçların güvenilirliğini ölçmek. Tüm yöntemlerdeki stratejilerin sıralama düzeni Şekil 8'de gösterilmektedir. Sonuçlara göre, T2NN-TOPSIS, A7'yi en iyi strateji olarak seçme konusunda diğer yöntemlerle tam bir tutarlılık göstermektedir. İkinci ve üçüncü stratejiler açısından, T2NN-WASPAS hariç tüm yöntemler tutarlı sonuçlar vermektedir. A1, A2 ve A3'ün sıralama düzeni tüm yöntemler için aynı kalmaktadır. T2NN-MARCOS için A4 ve A5'in sıralamasında küçük bir farklılık gözlemlenebilir. Ayrıca, önerilen yaklaşımın diğer yöntemlerle benzerlik sıralaması Spearman'ın sıra korelasyon katsayısı kullanılarak incelenmiştir. Bulgular, T2NN-TOPSIS'in T2NN-WAS- PAS ve T2NN-MARCOS ile %97, T2NN-CODAS ile %100 korelasyona sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5 Çevre kategorisi için BWM girdisi ve sonuçları

DM	Kriter		C11	C12	C13	C14	C15	C16
E1	En iyisi	C11	1	4	4	2	2	2
	En kötüsü	C14	5	3	2	1	2	3
E2	En iyisi	C11	1	2	3	5	3	3
	En kötüsü	C14	9	9	3	1	5	7
E3	En iyisi	C15	4	5	9	3	1	7
	En kötüsü	C13	5	4	1	7	9	3
E4	En iyisi	C11	1	9	4	3	3	4
	En kötüsü	C12	9	1	6	7	7	6
E5	En iyisi	C15	2	3	5	2	1	1
	En kötüsü	C13	6	4	1	6	6	5
Yerel ağırlık			0.26	0.12	0.09	0.13	0.25	0.16
Küresel ağırlık			0.12	0.05	0.04	0.06	0.12	0.08

Tablo 6 Ekonomik kategori için BWM girdisi ve sonuçları

DM	Kriter		C21	C22	C23	C24	C25	C26
E1	En iyisi	C22	2	1	3	2	2	2
	En kötüsü	C23	2	2	1	2	2	2
E2	En iyisi	C21	1	9	7	7	7	5
	En kötüsü	C22	9	1	5	5	5	5
E3	En iyisi	C21	1	3	5	6	9	7
	En kötüsü	C25	9	7	5	3	3	2
E4	En iyisi	C22	2	1	5	2	3	4
	En kötüsü	C23	6	7	1	6	5	4
E5	En iyisi	C24	2	6	6	1	6	8
	En kötüsü	C26	6	2	2	7	3	1
Yerel ağırlık			0.30	0.19	0.09	0.20	0.11	0.11
Küresel ağırlık			0.08	0.05	0.02	0.05	0.03	0.03

Tablo 7 Sosyal kategori için BWM girdisi ve sonuçları

DM	Kriter		C31	C32	C33
E1	En iyisi	C31	1	2	2
	En kötüsü	C32	2	1	2
E2	En iyisi	C31	1	9	5
	En kötüsü	C32	9	1	5
E3	En iyisi	C32	5	1	9
	En kötüsü	C33	4	9	1
E4	En iyisi	C31	1	5	2
	En kötüsü	C32	5	1	3
E5	En iyisi	C31	1	6	3
	En kötüsü	C32	6	1	6
Yerel ağırlık			0.54	0.24	0.21
Küresel ağırlık			0.08	0.04	0.03

Tartışma

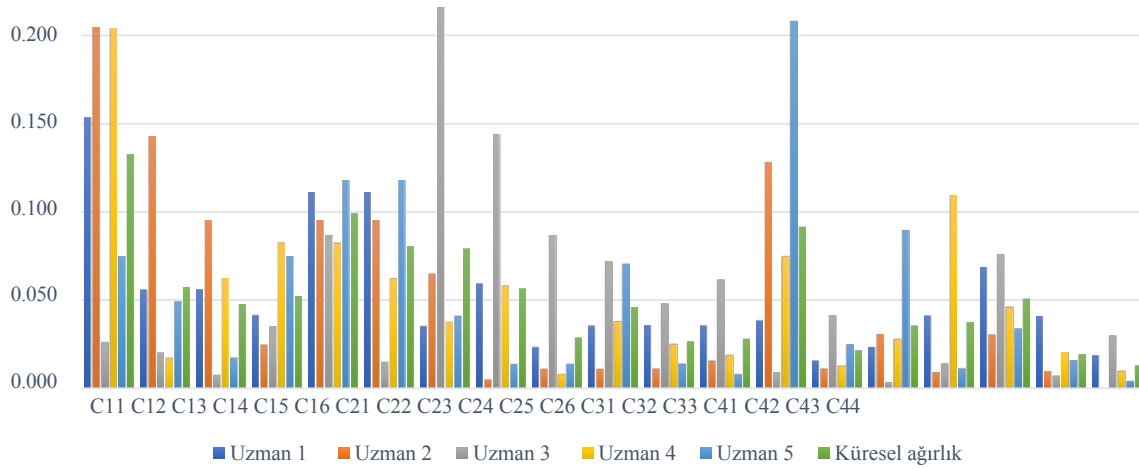
Taşımacılıkta alternatif yakıtlar

Küresel emisyonların artması ve iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha belirgin hale gelmesiyle birlikte, hükümetler sera gazı azaltım hedeflerine ulaşmak için ciddi planlar uygulamaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere, Almanya sürdürülebilirliğin sağlanması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için çeşitli planlar uygulamaktadır. Önceki hedeflerin tutturulamaması göz önünde bulundurularak ulaştırma sektörüne artık daha fazla öncelik verilmektedir. 2021'deki yeni Alman hükümeti, Fit for 55 paketinin hedefleriyle uyumlu olarak, ulaştırma sektörünün fosilleştirilmesine yönelik politika desteğinin iyileştirilmesine ciddi önem vermiştir.

Fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara geçiş ihtiyacı doğrultusunda Almanya, ulaşım sektörünün defossilize etmenin yolunu açmıştır. Avrupa Alternatif Yakıtlar Gözlemevi'ne göre, 2023 yılı sonuna kadar Almanya'da 3.055.625 alternatif yakıtlı araç tescil edilmiş olacak,

Tablo 8 Teknik kategori için BWM girdisi ve sonuçları

DM	Kriter		C41	C42	C43	C44
E1	En iyisi	C42	2	1	2	3
	En kötüsü	C44	3	3	2	1
E2	En iyisi	C42	5	1	5	9
	En kötüsü	C44	9	5	5	1
E3	En iyisi	C42	6	1	9	3
	En kötüsü	C43	4	9	1	6
E4	En iyisi	C41	1	3	7	8
	En kötüsü	C44	9	8	2	1
E5	En iyisi	C42	4	1	3	5
	En kötüsü	C44	3	9	6	1
Yerel ağırlık			0.26	0.47	0.16	0.10
Küresel ağırlık			0.03	0.06	0.02	0.01

**Şekil 6** Belirlenen faktörlerin ağırlık katsayıları

aynı yıl için toplam araç filosunun %5,6'sını oluşturmaktadır.

Şekil 9a, Almanya'daki alternatif yakıt temelli binek araçlardaki eğilimleri göstermektedir. Binek araç sahipleri tarafından kullanılan bat- tery-electric araçların (BEVs) ve plug-in hybrid electric araçların (PHEVs) sayısı 2019'dan bu yana önemli ölçüde artmıştır. 2024 yılına kadar, Almanya'da

1,5 milyon BEV ve 1 milyondan fazla PHEV yollarda. Bu artış, hükümet teşvikleri, gelişmiş şarj altyapısı ve çevresel sürdürülebilirlik konusunda artan tüketici bilinci ile elektrikli taşımacılığa doğru önemli ve hızlı bir geçişin açık bir göstergesidir. Buna karşılık, hidrojen, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) gibi diğer alternatif yakıtlar mütevazı bir büyüme veya düşüş göstermiştir. LPG istikrarlı bir şekilde varlığını sürdürmektedir ancak

altyapı zorlukları, daha yüksek maliyetler ve daha düşük tüketici kabulü nedeniyle önemli ölçüde genişlemiştir.

Ağır hizmet kamyonları için de eğilim neredeyse benzerdir ancak daha küçük ölçeklidir (Şekil 9b). Kamyonlar için BEV'lerin sayısı 2024 yılında önemli ölçüde artmış, bunu PHEV'ler ve CNG araçlardaki kademeli büyüme izlemiştir. Hidrojen ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) kamyonlarının benimsenmesi henüz emekleme aşamasındadır ve bugüne kadar asgari düzeyde benimsenmiştir. Kamyon sektöründe benimsenme oranının daha yavaş olması, daha yüksek başlangıç maliyetlerine, sınırlı menzile ve daha kapsamlı yakıt ikmal altyapısı gerekliliğine bağlanabilir.

Almanya, teşvikler ve yasalar yoluyla alternatif yakıtlı araçların kullanımını teşvik etmektedir. Bunlar arasında, BEV'ler ve yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV'ler) için 31 Aralık 2025 tarihine kadar tescil edilen ve daha sonra 2030 sonuna kadar uzatılan 10 yıllık vergi muafiyeti önemli bir girişimdir. Bu uzun vadeli vergi indirimi tüketicilere fayda sağlamaktadır

Tablo 9 İlk uzman karar matrisi

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24
A1	L,M,VL,AL,L	ML,M,ML,AL,L	M,M,M,AL,ML	VL,M,AH,AL,ML	VL,L,H,AL,L	VL,M,MH,H,M	M,L,ML,AL,L	M,M,ML,M,M	VL,M,H,AL,ML	VL,M,H,MH,M
A2	L,H,H,M,M	L,M,M,M,ML	L,M,ML,M,ML	L,L,H,M,ML	L,L,L,M,L	VL,ML,ML,AL,L	M,M,ML,M,M	L,M,L,M,ML	L,M,ML,VL,L	L,L,M,AL,L
A3	VL,H,H,H,MH	VL,H,M,H,M	L,H,ML,H,M	AL,M,ML,VL,L	AL,M,MH,VL,ML	AL,M,AH,AL,ML	AL,M,L,VL,L	AL,M,VL,H,ML	AL,H,M,VL,ML	AL,M,L,VL,L
A4	MH,M,VL,VH,MH	MH,L,ML,L,ML	AL,M,L,L,L	VL,M,M,H,M	VL,M,AH,H,MH	AL,M,L,AL,VL	AL,M,M,H,M	ML,M,MH,H,M	VL,L,ML,AL,L	VL,L,VH,VL,ML
A5	VL,M,MH,AL,L	VL,M,L,AL,L	ML,M,M,AL,ML	AL,M,VH,AL,ML	AL,M,H,AL,L	VL,M,H,AL,ML	VL,M,ML,AL,L	L,M,H,MH,M	VL,L,M,AL,L	AL,M,ML,AL,L
A6	ML,M,ML,H,M	ML,M,M,H,M	ML,M,MH,H,M	AL,M,M,H,ML	AL,M,ML,H,ML	AL,L,VH,VL,L	VL,M,L,MH,ML	AL,M,VL,H,ML	AL,M,VL,H,ML	AL,M,M,H,ML
A7	L,H,H,H,MH	VL,H,M,H,M	ML,H,ML,H,M	AL,L,M,H,ML	AL,L,ML,H,ML	AL,L,H,H,M	L,M,ML,H,M	L,M,MH,H,M	AL,L,H,H,ML	AL,M,L,H,ML
A8	ML,H,ML,H,M	VL,H,L,ML,ML	ML,H,M,H,MH	AL,M,AH,M,M	AL,M,VH,M,M	AL,M,L,AL,VL	AL,H,MH,H,M	VL,L,MH,H,ML	AL,L,ML,MH,L	AL,M,M,H,M
	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44	
A1	VL,M,MH,MH,M	VL,M,VH,L,ML	M,M,H,H,MH	M,M,MH,M,M	ML,L,MH,H,M	ML,M,AH,AL,M	L,M,M,AL,L	MH,H,M,H,MH	MH,M,M,H,MH	
A2	L,ML,MH,AL,L	VL,ML,AH,AL,ML	MH,H,MH,AH,H	ML,L,H,VH,M	L,M,L,M,ML	MH,ML,H,AH,H	ML,ML,VH,H,MH	VL,ML,M,AL,L	VL,L,M,AL,L	
A3	AL,M,AL,H,ML	AL,M,H,VL,ML	L,H,MH,H,MH	AL,H,AL,H,ML	AL,H,ML,VL,ML	AL,M,H,H,M	AL,M,MH,VL,L	AL,M,L,AL,L	AL,M,VH,AL,ML	
A4	VL,L,MH,VL,L	VL,L,M,VL,L	AL,M,M,H,ML	AL,M,MH,H,M	ML,M,MH,H,MH	L,L,AL,VL,VL	ML,L,VL,H,ML	AL,M,ML,AL,L	AL,L,H,AL,L	
A5	AL,L,M,AL,VL	AL,M,MH,MH,ML	ML,M,H,H,MH	VL,L,MH,H,ML	VL,M,MH,AL,ML	L,M,M,AL,L	AL,M,L,AL,VL	L,M,L,AL,L	L,L,AH,AL,ML	
A6	AL,M,L,H,ML	AL,M,H,L,ML	VL,M,MH,H,M	AL,L,L,H,L	VL,M,H,H,M	AL,M,M,VL,L	AL,M,MH,VL,L	AL,M,AH,VL,ML	AL,M,ML,VL,L	
A7	L,M,MH,H,M	AL,M,M,VL,L	ML,L,L,H,ML	L,L,MH,H,M	VL,M,L,H,ML	L,M,MH,VL,ML	VL,M,AH,VL,ML	L,M,VH,VL,ML	AL,L,VH,AL,L	
A8	AL,M,H,H,M	AL,M,ML,VL,L	ML,L,AL,MH,L	AL,M,VH,MH,M	VL,H,H,VL,ML	AL,L,ML,AL,VL	AL,M,MH,AL,L	VL,M,M,AL,L	AL,M,M,AL,L	

Tablo 10 Birleştirilmiş karar matrisi

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44
A1	0.734	0.769	0.786	0.802	0.765	0.820	0.758	0.810	0.788	0.820	0.803	0.810	0.856	0.817	0.824	0.821	0.760	0.859	0.841
A2	0.843	0.798	0.795	0.808	0.757	0.747	0.810	0.786	0.763	0.743	0.766	0.799	0.886	0.848	0.786	0.881	0.858	0.750	0.734
A3	0.859	0.836	0.840	0.750	0.771	0.797	0.734	0.788	0.788	0.734	0.783	0.788	0.850	0.805	0.785	0.832	0.761	0.728	0.792
A4	0.832	0.788	0.743	0.816	0.851	0.719	0.811	0.834	0.732	0.790	0.752	0.739	0.808	0.815	0.837	0.700	0.798	0.744	0.759
A5	0.761	0.734	0.782	0.792	0.773	0.788	0.750	0.827	0.734	0.744	0.719	0.795	0.853	0.806	0.771	0.760	0.719	0.743	0.798
A6	0.827	0.830	0.834	0.808	0.804	0.775	0.784	0.788	0.788	0.808	0.796	0.796	0.820	0.773	0.836	0.752	0.761	0.802	0.750
A7	0.865	0.836	0.847	0.796	0.793	0.821	0.820	0.827	0.817	0.796	0.827	0.752	0.805	0.816	0.801	0.784	0.807	0.810	0.770
A8	0.847	0.798	0.853	0.824	0.820	0.719	0.835	0.806	0.766	0.811	0.832	0.750	0.766	0.824	0.815	0.717	0.756	0.752	0.746

Tablo 11 Normalize edilmiş karar matrisi

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44
A1	0.316	0.340	0.343	0.355	0.341	0.375	0.340	0.354	0.361	0.371	0.362	0.368	0.364	0.355	0.361	0.371	0.345	0.392	0.384
A2	0.363	0.353	0.347	0.357	0.338	0.341	0.363	0.344	0.349	0.336	0.345	0.363	0.377	0.369	0.344	0.398	0.390	0.342	0.335
A3	0.369	0.370	0.366	0.331	0.344	0.364	0.329	0.345	0.361	0.332	0.353	0.358	0.361	0.350	0.344	0.376	0.346	0.332	0.362
A4	0.358	0.349	0.324	0.361	0.380	0.328	0.364	0.365	0.335	0.358	0.338	0.335	0.344	0.354	0.367	0.316	0.362	0.340	0.347
A5	0.327	0.325	0.341	0.350	0.345	0.360	0.336	0.362	0.336	0.337	0.323	0.361	0.363	0.350	0.338	0.343	0.326	0.339	0.364
A6	0.356	0.367	0.364	0.357	0.359	0.354	0.352	0.345	0.361	0.366	0.358	0.361	0.349	0.336	0.366	0.340	0.346	0.366	0.342
A7	0.372	0.370	0.369	0.352	0.354	0.375	0.368	0.362	0.374	0.360	0.372	0.341	0.343	0.355	0.351	0.354	0.367	0.370	0.352
A8	0.364	0.353	0.372	0.364	0.366	0.328	0.375	0.352	0.351	0.367	0.374	0.340	0.326	0.358	0.357	0.324	0.343	0.343	0.341

Tablo 12 Ağırlıklı karar matrisi

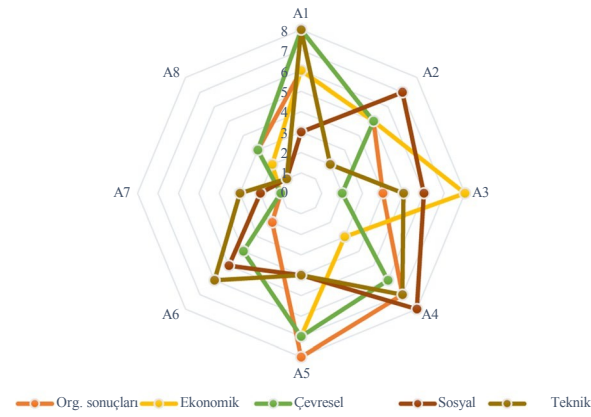
	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C31	C32	C33	C41	C42	C43	C44
A1	0.042	0.020	0.016	0.028	0.012	0.021	0.010	0.033	0.008	0.019	0.036	0.017	0.010	0.010	0.013	0.019	0.006	0.032	0.005
A2	0.048	0.020	0.017	0.028	0.012	0.019	0.010	0.032	0.007	0.017	0.034	0.017	0.010	0.010	0.013	0.020	0.007	0.028	0.004
A3	0.049	0.021	0.017	0.026	0.012	0.020	0.009	0.032	0.008	0.017	0.035	0.016	0.010	0.010	0.013	0.019	0.006	0.027	0.005
A4	0.047	0.020	0.015	0.029	0.013	0.018	0.010	0.034	0.007	0.019	0.033	0.015	0.009	0.010	0.014	0.016	0.007	0.027	0.005
A5	0.043	0.019	0.016	0.028	0.012	0.020	0.010	0.033	0.007	0.017	0.032	0.016	0.010	0.010	0.013	0.018	0.006	0.027	0.005
A6	0.047	0.021	0.017	0.028	0.013	0.020	0.010	0.032	0.008	0.019	0.035	0.016	0.009	0.009	0.014	0.017	0.006	0.029	0.004
A7	0.049	0.021	0.018	0.028	0.012	0.021	0.011	0.033	0.008	0.019	0.037	0.016	0.009	0.010	0.013	0.018	0.007	0.030	0.005
A8	0.048	0.020	0.018	0.029	0.013	0.018	0.011	0.032	0.007	0.019	0.037	0.015	0.009	0.010	0.013	0.017	0.006	0.028	0.004

Tablo 13 Önerilen stratejilerin önceliklendirilmesi

Stratejiler	S_i	S_j	CC_i	Rütbe
A1	0.008	0.009	0.488	6
A2	0.009	0.006	0.611	5
A3	0.009	0.006	0.609	4
A4	0.007	0.008	0.487	7
A5	0.004	0.010	0.292	8
A6	0.009	0.005	0.630	2
A7	0.011	0.003	0.780	1
A8	0.010	0.006	0.621	3

alternatif yakıtlı araçları tercih edenler. Ayrıca, BEV'ler için şirket araç vergisinde önemli bir indirim yapılmıştır ve PHEV'leri kurumsal şirketler için daha cazip hale

filolar. Elektrikli araçlar için satın alma sübvansiyonları 1 Ocak 2024 tarihinde sona ermiştir. Bununla birlikte hükümet, alternatif yakıtlı araçlar için gerekli altyapının daha da geliştirilmesine olan ilgisini sürdürmektedir. Önemli yatırımlar, elektrikli ulaşım geçişin mümkün olduğunca sorunsuz olmasını sağlamak için şarj istasyonlarının ve diğer temel tesislerin genişletilmesine yöneliktir. Almanya alternatif yakıt altyapısına € 130 milyar yatırım yapıyor. Yerel teşvikler de planın bir parçası olup aşağıdakilere odaklanmaktadır



Şekil 7 Stratejilerin her bir kategorideki performansının duyarlılık analizi

şirketler ve belediyeler. Bu teşvikler hibe ve indirim gibi şekillerde olup alternatif yakıtların ve ilgili teknolojilerin benimsenmesini teşvik etmektedir. Amaç, çevre dostu araçların yaygın kullanımını destekleyen kapsamlı bir ağ oluşturmaktır.

Havacılık ve denizcilik bağlamında, bu sektörlerle yönelik mevcut politikalar (FuelEU Denizcilik, ReFuelEU Havacılık, AB Hidrojen Stratejisi, Ulusal Hidrojen Stratejisi ve PtL Yol Haritası) esas olarak farklı alternatif yakıtlar için kota tanımlamaya odaklandığından, teşviklerin düzenlenmesi için mevzuat şu anda oldukça belirsizdir. Bu politikalar kapsamındaki başlıca teşvik programları, alternatif yakıtların üretimini etkileyen Ar-Ge projelerinin desteklenmesine odaklanmaktadır.

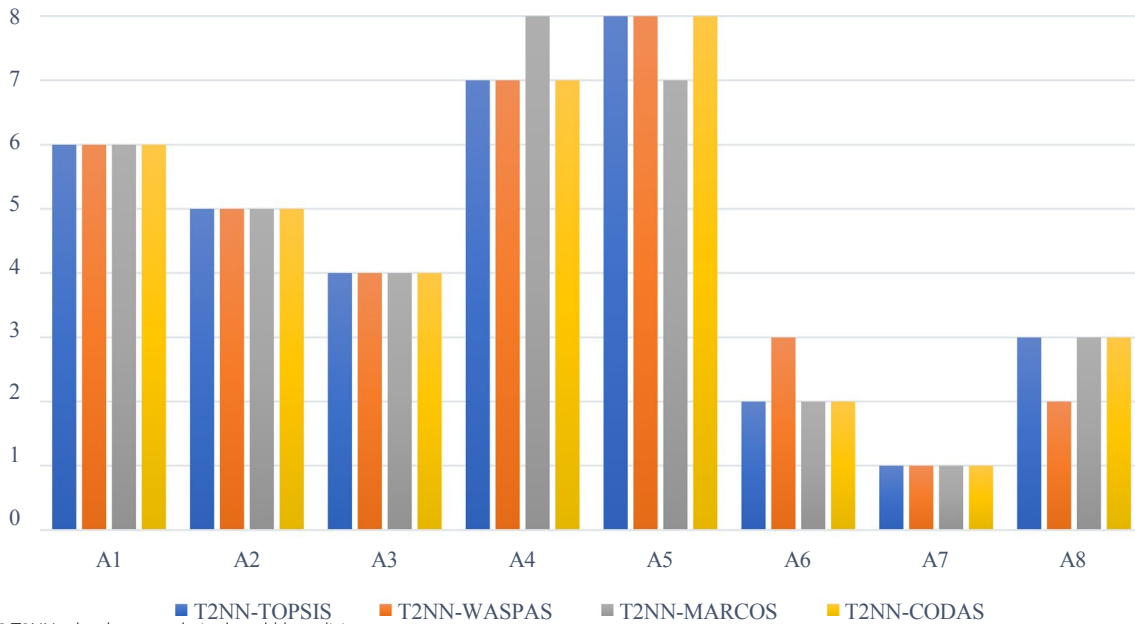
yakıtlar, özellikle PtX teknolojileri ve gelişmiş biyoyakıtlar üzerinde durulmaktadır.

Yönetimsel çıkarımlar

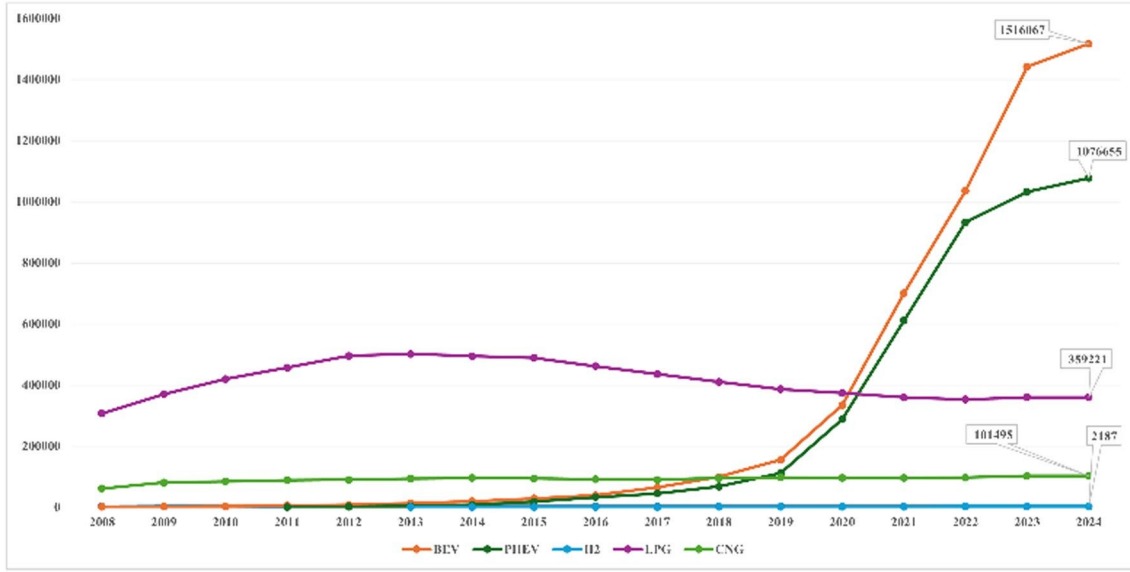
Sonuçlar, artan fiyatlar yoluyla fosil yakıtların rekabet gücünün azaltılmasının (A7) uzmanlar tarafından ulaştırma sektöründe sera gazı nötrlüğüne doğru ilerlemek için en önemli ve etkili strateji olarak değerlendirildiğini göstermiştir. Federal Çevre Ajansı, CO₂ fiyatlarındaki bir artışın 2030 hedefi için önemli bir azaltıma yol açmayacağı sonucuna varmıştır. 2030 ve daha ileri hedeflere ulaşmak için 200€ /ton üzerindeki fiyatlar tavsiye edilmiştir [82]. Tersine, fosil yakıtlar ve türevlerine yönelik sübvansiyonların azaltılması, fosil yakıtların fiyatlarını artırarak alternatif yakıtlara geçişi kolaylaştırabilir. Aynı bağlamda, parasal teşvikler yoluyla alternatif yakıtların rekabet gücünün artırılması (A8) ikinci en iyi strateji olarak sıralanmıştır. Şu anda elektrikli araçlara hükümet ve büyük otomotiv üreticisi şirketler tarafından yoğun ilgi gösterilmektedir.

Fosil yakıtların rekabet gücünün daha fazla rahatsızlık vererek azaltılması (A6) Almanya federal hükümeti tarafından nispeten az dikkate alınmıştır. Bazı şehirler çok yüksek emisyonu sahip araçlar için özel sürüş kısıtlamaları uygulamış olsa da, bu önlemler oldukça nadirdir ve tipik olarak yalnızca CO₂ emisyonlarına odaklanmaz ve daha ziyade eski araçlarla ilgilidir.

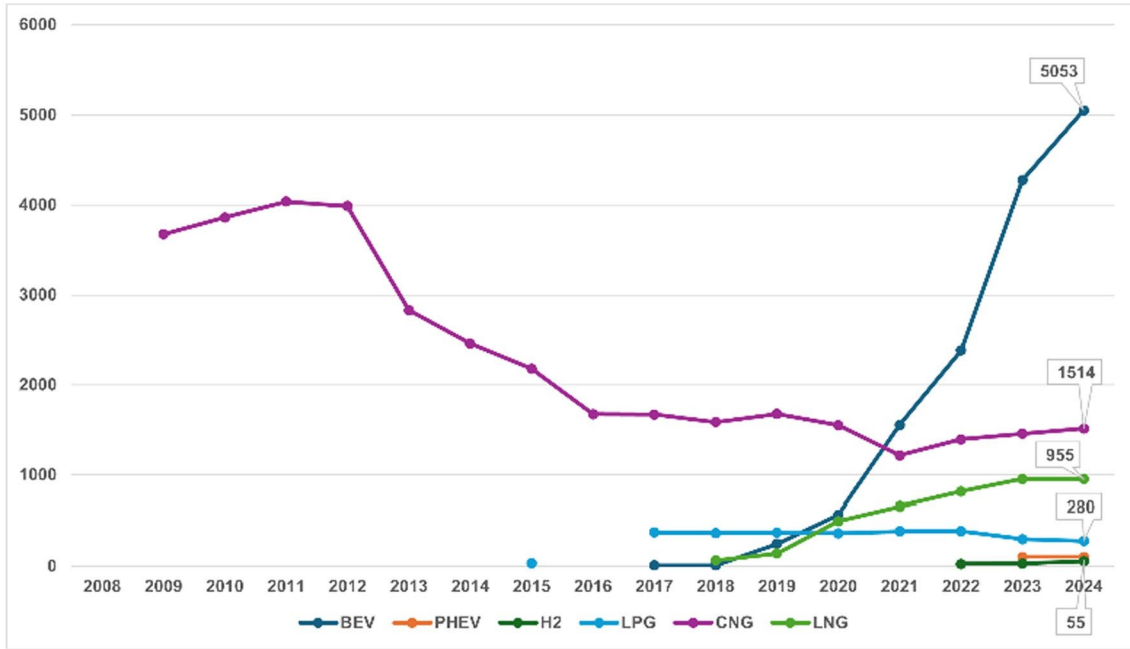
Alternatif yakıtların (A2) kullanımı için daha iyi bir altyapının geliştirilmesi de bir diğer önemli stratejidir.



Şekil 8 T2NN tabanlı yöntemlerin duyarlılık analizi



a Alternative fuels-based passenger vehicles



b Alternative fuels-based heavy-duty vehicles

Şekil 9 Almanya'da alternatif yakıt temelli araçlar [81]

Almanya'nın ulaştırma sektöründeki sera gazı emisyonlarının azaltılması konusundaki performansının iyileştirilmesi. Federal Trans- port Altyapı Planı (FTIP) 2030, Almanya'daki ulaşım altyapısı için € 269.6 milyar tahsis etmektedir. Bu miktarın €226.7 milyar dolar mevcut altyapının bakımı için ayrılmışken, sadece € 42.8 milyar dolar kullanılacaktır.

yeni altyapıların geliştirilmesi için. Bir diğer önemli husus ise, karayolu altyapılarının %49,3 ile en büyük payı aldığı farklı ulaştırma modları arasında mali kaynakların tahsisidir. Yeni hükümet, demiryoluna daha fazla yatırım yapılarak YTIP bütçe tahsisinde güncellemeler yapılacağını belirtmiştir.

Altyapı. Yavaş geçişin bir başka örneği de demiryolu taşımacılığı sektöründeki tren şirketleridir. 2021 yılında Deutsche Bahn (devlete ait tren şirketi) tarafından kullanılan tüm enerjinin %61'i yenilenebilir olarak üretilmiştir [83]. Bununla birlikte, mevcut hükümet 2030 yılına kadar demiryolu sektöründe %75 elektrifikasyon hedeflerken [16], Deutsche Bahn 2038 yılına kadar tüm filolarında %100 elektrifikasyona ulaşmayı amaçlamaktadır [83]. Avrupa Alternatif Yakıtlar Gözlemevi'ne göre, 2023 yılına kadar Almanya'da toplam 120.612 elektrikli araç şarj noktası (AC ve DC) mevcut olacaktır. Yeni hükümet bu sayıyı 2030 yılına kadar bir milyona çıkarmayı hedeflemektedir. Ayrıca, LPG, CNG, LNG ve hidrojen yakıtlı araçlar için yakıt ikmal noktaları 2030 yılı sonu itibarıyla sırasıyla 5.888, 710, 172 ve 106'dır. Önümüzdeki yıllarda Almanya ve AB'nin düzenleyici odağı nedeniyle hidrojen yakıt ikmal istasyonlarında bir artış olması muhtemeldir. Ancak bu değişim öncelikle denizcilik ve havacılık sektörlerini etkileyecektir.

Sonuçlar

Bu çalışma, Alman ulaştırma sektöründe sera gazı emisyonu ve iklim değişikliği sorunlarının ele alınmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesine yönelik çok kriterli bir yaklaşım benimsemiştir. Fosil yakıtlar sera gazı emisyonlarının ana kaynağı olduğundan, sektörde sürdürülebilir bir geçiş, bunların alternatif yakıtlar gibi sürdürülebilir ve temiz yakıtlarla değiştirilmesi için çok doğru ve dikkatli stratejiler gerektirmektedir. Bu bağlamda, mevcut çalışma, bir SWOT analizi kullanarak ulaştırma sektörünün mevcut durumunu araştırmak ve anlamak için önemli hedefler izlemiştir. SWOT analizi, defos- silizasyon için uygun stratejiler geliştirmek üzere SWOT temaları altındaki kilit faktörleri tanımlamak için kullanılmıştır. Bu amaçla, fosil ve alternatif yakıtların rolü göz önünde bulundurularak sekiz strateji geliştirilmiştir. Nihai hedef, paydaşların tercihlerine dayalı olarak Alman ulaştırma sektöründe uygulanmak üzere geliştirilen stratejilerin önceliklendirilmesiydi.

Sorunu ele almak için SWOT, BMW ve TOPSIS kullanan çok kriterli bir yaklaşım geliştirilmiştir. İlk aşamada, ilgili faktörleri belirlemek ve buna bağlı olarak fosil ve alternatif yakıtları dikkate alarak sürdürülebilir geçiş için stratejiler geliştirmek için SWOT kullanılmıştır. Bir uzmanlar paneline danışılarak, SWOT analizi yoluyla tanımlanan faktörlerin ağırlık katsayılarını belirlemek için BMW kullanılmıştır. İkinci aşamada, geliştirilen stratejileri önceliklendirmek için TOPSIS uygulanmıştır. Daha sonra, farklı faktör kategorileri altında stratejilerin sonuç ve sıralama düzenlerinde yapılan çeşitli değişikliklerin etkilerini ölçmek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

Sonuçlar, artan fiyatlar yoluyla fosil yakıtların rekabet gücünün azaltılması ve parasal destek yoluyla alternatif yakıtların rekabet gücünün artırılması gerektiğini göstermektedir.

teşvikler, yakıt ikmal istasyonlarının azaltılmasıyla artan zahmetler yoluyla fosil yakıtların rekabet gücünün azaltılması, fosil yakıt bazı araçlar için yasak bölgeler oluşturulması ve alternatif yakıtların kullanımı için daha iyi altyapı geliştirilmesi, 2045 yılına kadar sera gazı nötrlüğüne ulaşmak için Almanya'nın ulaştırma sektöründe sürdürülebilir geçiş için en önemli dört stratejidir.

Mevcut çalışmanın sınırlılıkları da bulunmaktadır. İklim değişikliği sorunları ortak geleceğimizin birçok yönüyle bağlantılı olduğundan, ulaştırma ve diğer bağlantılı sektörlerle ilişkin stratejiler önermek politika yapıcılar için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, politikaların, düzenlemelerin ve hedeflerin dinamikleri, ulusal ve AB hedefleriyle uyumlu hale gelmek için stratejilerin güncellenmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, farklı gelecek senaryolarını veya farklı yılları dikkate alan senaryo temelli bir yaklaşım daha aydınlatıcı sonuçlar sağlayabilir. Bu çalışmanın bir diğer sınırlaması da beş uzmandan oluşan uzman panelidir; dolayısıyla gelecekteki bir yaklaşım, çoklu uzman çalışmasını siyaset, otomotiv endüstrisi, çevre örgütleri, yakıt üreticileri ve kamu dahil olmak üzere farklı paydaş gruplarından daha fazla sayıda uzmanla yürütmek olabilir. Potansiyel olarak verimli bir başka yol da SWOT analizini Almanya veya AB'deki farklı yenilenebilir yakıtlara odaklanarak uygulamak olabilir.

Teşekkür

Yazarlar, Katharina Böhm ve Jakob Rohner'e yayın süreci boyunca verdikleri değerli destek için teşekkür eder.

Yazar katkıları

Kavramsallaştırma, FCV ve AET; metodoloji, FCV; Hesaplamalar, FCV; Şekil, FCV; yazım- orijinal taslak ve yazım-inceleme, FCV, AET, SV. Tüm yazarlar nihai makaleyi okumuş ve onaylamıştır.

Finansman

Açık Erişim finansmanı Projekt DEAL tarafından sağlanmış ve düzenlenmiştir. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Alman Araştırma Vakfı) tarafından Almanya'nın Mükemmellik Stratejisi - Mükemmellik Kümesi 2186 "Yakıt Bilimi Merkezi" -ID: 390919832 kapsamında finanse edilmektedir.

Veri ve materyallerin mevcudiyeti

Bu çalışma sırasında üretilen veya analiz edilen tüm veriler yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Beyanlar

Etik onayı ve katılım izni

Yazarlar, araştırmanın etik standartlarına bağlı kaldıklarını beyan ederler.

Yayın için onay

Yazarlar yayın için izin verdiklerini beyan etmişlerdir.

Rekabet eden çıkarlar

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Alındı: 17 Ocak 2024 Kabul Tarihi: 26 Kasım 2024
Published online: 20 January 2025

Referanslar

- Shao S ve diğerleri (2022) Elektrikli otobüsler ve dizel otobüslerden oluşan karma bir filo için sera gazı emisyonlarının ve işletme maliyetlerinin dengelenmesi. *Uygulama Enerji* 328:120188
- Chen H ve diğerleri (2022) Yenilenebilir toplu taşımaya doğru: Yardımcı güç olarak güneş radyasyonu kullanan elektrikli otobüslerin performansının incelenmesi kaynağı. *Uygulama Enerji* 325:119863
- Tan Z ve diğerleri (2023) Sürdürülebilir kentsel hareketlilik: Esnek otobüs hizmeti ağı pandemi sonrası dönemde iş tasarımı. *Sürdürülebilir Şehirler Soc* 97:104702
- Eurostat (2022) 2011'den 2019'a kadar Avrupa Birliği'nde (AB-28) taşımacılık ve depolama [storage-industry-european-union/](https://www.statista.com/statistics/1175515/enterprises-transportation-)sektöründeki işletmelerin sayısı (milyon olarak). <https://www.statista.com/statistics/1175515/enterprises-transportation->
- Bundesamt K (2021) Pressemitteilung Nr. 08/2021: Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2021. https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Fahrzeugbestand/2021/pm08_fz_bestand_pm_komplett.html
- Prussi M ve diğerleri (2021) Avrupa denizcilik sektöründe alternatif yakıtların kullanımındaki potansiyel ve sınırlayıcı faktörler. *J Clean Prod* 291:125849
- Koalitionsvereinbarung (1998) Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis 90/ Die GRÜNEN - Aufbruch und Erneuerung- Deutschlands Weg ins 21. Jahrhundert. https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Beschluesse/Bundesparteitag/koalitionsvertrag_bundesparteitag_bonn_1998.pdf
- Koalitionsvertrag (2005) Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD: Gemeinsam für Deutschland. Mit Mut und Menschlichkeit [Menschlichkeit-koalitionsvertrag-2005. https://www.archiv.cdu.de/artikel/gemeinsam-fuer-deutschland-mit-mut-und-](https://www.archiv.cdu.de/artikel/gemeinsam-fuer-deutschland-mit-mut-und-)
- Koalitionsvertrag (2009) Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP: WACHSTUM. BILDUNG. ZUSAMMENHALT. https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=83dbcb842-b2f7-bf99-6180-e65b2de7b4d4&groupId=252038
- Koalitionsvertrag (2013) Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD: Deutschlands Zukunft gestalten. <https://www.cdu.de/sites/default/files/media/dokumente/koalitionsvertrag.pdf>
- Koalitionsvertrag (2018) Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD: Ein neuer Aufbruch für Europa-Eine neue Dynamik für Deutschland-Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf?download=1>
- Bundes-Klimaschutzgesetz (2019) <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>
- Bundesverfassungsgericht (2021) Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz teilweise erfolgreich. <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/bvg21-031.html>
- Bundes-Klimaschutzgesetz (2021) Lesefassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes 2021 mit markierten Änderungen zur Fassung von 2019. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ksg_aendg_2021_bf.pdf
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2021) https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/projektionsbericht_2021_bf.pdf
- Koalitionsvertrag (2021) KOALITIONSVERTRAG ZWISCHEN SPD, BÜND-NIS 90/DIE GRÜNEN UND FDP: MEHR FORTSCHRITT WAGEN. https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?__blob=publication_file
- Reichenbach M, Fleischer T (2023) Hedefteften uygulamaya: Almanya'da sürdürülebilir bir mobilite geçişi için kilit bir zorluk olarak kurumsallaşma. *Energy Sustain Soc* 13(1):14
- Avrupa Komisyonu (2020) Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi - Avrupa ulaşımını gelecek için rayına oturtmak. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0789&from=TR>
- Avrupa Birliği Konseyi. Fit for 55. <https://www.consilium.europa.eu/policies/fit-for-55/>
- Torkayesh AE ve diğerleri (2024) Fueling the future: Yeni bir analitik yaklaşım kullanarak Almanya'da yenilenebilir yakıtların pazar gelişiminin önündeki engellerin aşılması. *Eur J Oper Res* 78:8
- Gündoğdu HG ve diğerleri (2023) Çevresel, sosyal ve yönetim riskleri ve çevreye duyarlı rekabet stratejileri: Çok uluslu bir lojistik şirketi üzerine bir vaka çalışması. *Bus Strateg Environ* 89:7
- Hendiani S, Walther G (2023) Yenilenebilir enerji sistemlerinin yeni bir çok uzmanlı çok kriterli sürdürülebilirlik performans değerlendirmesi aralık tip-2 bulanık ideal çözüme uzaklık yaklaşımı. *Uygulama Enerji* 347:121436
- Zarbakhshnia N ve diğerleri (2023) Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda döngüsel ekonomide lojistik operasyonların dış kaynak kullanımı. *Bus Strateg Environ* 32(1):134-162
- Saaty TL (1988) Analitik hiyerarşi süreci nedir? İçinde: Karar destek için matematiksel modeller. Springer, s. 109-121.
- Saaty TL (2004) Karar verme-analitik hiyerarşi ve ağı süreçleri (AHP/ANP). *J Syst Sci Syst Eng* 13(1):1-35
- Zavadskas EK ve diğerleri (2007) COPRAS yöntemini kullanarak yol tasarım çözümlerinin çok özellikli değerlendirilmesi by using the COPRAS method. *Balt J Road Bridge Eng* 2(4):195-203
- Hwang CL ve diğerleri (1981) Çoklu nitelik karar verme yöntemleri. İçinde: Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey, p. 58-191
- Brauers WK, Zavadskas EK (2006) MOORA yöntemi ve uygulaması bir geçiş ekonomisinde özelleştirme. *Control Cybern* 35(2):445-469
- Nassereddine M, Eskandari H (2017) Tahran'daki toplu taşıma sistemlerini değerlendirmek için entegre bir MCDM yaklaşımı. *Transp Res Part A: Policy Pract* 106:427-439
- Erdoğan S, Sayın C (2018) Yakıt özellikleri ve fiyatına bağlı olarak en uygun alternatif yakıtın hibrit MCDM yöntemi ile seçimi. *Sürdürülebilirlik* 10(5):1583
- Trinh TA, Le TPL (2018) Viet-nam'da ulaşım yakıtları için biyoyakıt potansiyeli: Bir statüko ve SWOT analizi. İçinde: IOP Konf. Ser: Earth Environ. Sci. IOP Yayıncılık
- de Aquino JT ve diğerleri (2019) Toplu taşıma hizmetlerinde kalitenin değerlendirilmesi: kalite boyutlarının bulanık TOPSIS için bir girdi olarak kullanılması. *Int J Fuzzy Syst* 21(1):176-193
- Kheybari S, Rezaei FM, Rezaei J (2019) Biyoyakıt üretim teknolojisi seçiminde karar verme kriterlerinin öneminin ölçülmesi. *IEEE Trans Eng Manag* 68(2):483-497
- D'Adamo I ve diğerleri (2020) RES-T yörüngeleri ve biyometan için entegre bir SWOT-AHP analizi, Avrupa taşımacılığında yeşil bir devrimi desteklemek için politika çıkarımları- tion in European transport. *Enerji Politikası* 138:111220
- Kowalska-Pyzalska A, Kott J, Kott M (2020) Polonya a l t e r n a t i f yakıtlı araç (AFV) pazarı neden Avrupa'daki en küçük pazar? fırsat ve tehditlerinin SWOT analizi. *Yenilenebilir Sürdürülebilir Enerji Rev* 133:110076
- Bouraima MB ve diğerleri (2020) SWOT/AHP tekniğine dayalı olarak Batı Afrika Ekonomik ve Mon-etary Birliği'nde (WAEMU) demiryolu ulaşım sisteminin gelişim stratejisi üzerine bir çalışma. *Sci Afr* 8:12
- Elavarasan RM ve diğerleri (2020) SWOT analizi: Önemli ülkelerde yenilenebilir enerji gelişimine yönelik itici güçlerin ve engellerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi için bir çerçeve. *Enerji Raporu* 6:1838-1864
- Ul-Haq A ve diğerleri (2020) CPEC projesi kapsamında Pakistan'da elektrikli ulaşım: Teknik çerçeve ve politika çıkarımları. *IEEE Erişim* 8:162394-162420
- Uzunamure SE, Shale K (2021) Güney Afrika'da yenilenebilir enerjiye sürdürülebilir geçiş için bir SWOT Analizi yaklaşımı. *Sürdürülebilirlik* 13(7):3933
- Mostafaeipour A ve diğerleri (2021) MCDM yöntemleri kullanılarak Özbekistan'da yenilenebilir hidrojen projelerinin geliştirilmesinin kapsamlı bir analizi. *Int J Hydrog Energy* 46(61):31174-31190
- Almutairi K ve diğerleri (2021) Rüzgar enerjisi kullanılarak hidrojen üretimi için teknik, ekonomik, karbon ayak izi değerlendirmesi ve istasyonların önceliklendirilmesi: Bir vaka çalışması. *Enerji Stratejileri Rev* 36:100684
- Al-Haidous S ve diğerleri (2021) SWOT Analizi Kullanılarak LNG Tedarik Zinciri Dayanıklılığının Değerlendirilmesi: Katar Örneği. *Energies* 15(1):79
- Ecer F (2021) Sıralama stratejilerine dayalı bataryalı elektrikli araçların performans değerlendirilmesi için birleştirilmiş bir ÇKKV çerçevesi. *Renew Sürdürülebilir Enerji Rev* 143:110916
- Narwane VS ve diğerleri (2021) Entegre MCDM yaklaşımına dayalı olarak Hindistan'daki biyoyakıt endüstrisinin sürdürülebilir kalkınma zorlukları. *Yenileme Enerji* 164:298-309
- Abdel-Basset M ve diğerleri (2021) Gelişmiş bir hibrit MCDM yaklaşımı kullanarak sürdürülebilir hidrojen ü r e t i m seçeneklerinin değerlendirilmesi: Bir vaka çalışması. *Int J Hydrog Energy* 46(5):4567-4591
- Chai N, Zhou W (2022) Tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilir alternatif havacılık yakıtlarının seçilmesi için yeni bir hibrit MCDM yaklaşımı. *Yakıt* 327:125180

47. Mehta AV, Mehta NS (2022) Güç üretimi için alg biyodizelinin çıkarılması ve MCDM kullanılarak sürdürülebilir yakıtların karşılaştırılması. *Int J Ambient Energy* 43(1):3106-3116
48. Simic V, Gokasar I, Deveci M, Švadlenka L (2022) Tip-2 Neutrosophic MEREK-MARCOS Modeli Kullanarak Kentsel Ulaşımın İklim Değişikliği Etkilerinin Azaltılması. *IEEE Trans Eng Manag* 67:7
49. Jusakulvijit P, Bezama A, Thrän D (2021) Tayland'da ikinci nesil biyoetanolün sürdürülebilir gelişimi için kriter önceliklendirmesi Delphi-AHP tekniği kullanılarak. *Energy Sustain Soc* 11:1-25
50. Wang M ve diğerleri (2024) CBS-MCDM yöntemi ve kantil tabanlı senaryo analizinin entegrasyonu ile bölgesel biyoetanol tedarik zinciri optimizasyonu. *J Environ Manag* 351:119883
51. Rahimirad Z, Sadabadi AA (2023) SWOT analizi ve MCDM yöntemleri kullanılarak İran'da yeşil hidrojen teknolojisi geliştirme ve kullanım politikası oluşturma. *Int J Hydrog Energy* 48(40):15179-15194
52. Sun D, Guo D, Xie D (2023) Şehirlerde hidrojen enerjisi depolama ve taşıma riskini d e ğ e r l e n d i r m e k için çok kriterli karar verme yönteminin kullanılması. *Sürdürülebilirlik* 15(2):1088
53. Olabi A ve diğerleri (2024) Ekonomik, sosyal ve çevresel etkilere dayalı hidrojen üretim yaklaşımları için çok kriterli karar verme. *Int J Hydrog Energy* 52:854-868
54. Lee J ve diğerleri (2021) Kore uydusu ve uzay endüstrisinin SWOT-AHP analizi: Gelişim için strateji önerileri. *Technol Forecast Soc Chang* 164:120515
55. Büyükoçkan G, Mukul E, Kongar E (2021) SWOT analizi ve entegre tereddütlü bulanık dilbilimsel AHP- MABAC yaklaşımı ile sağlık turizmi stratejisi seçimi. *Socio-Econ Plan Sci* 74:100929
56. Lin R ve diğerleri (2019) Çin'de sürdürülebilir bir dağıtık enerji sistemine doğru: stratejiler ve politika çıkarımları için karar verme. *Energy Sustain Soc* 9:1-25
57. Zincir BA, Zincir B, Arslanoğlu Y (2023) Denizcilik Endüstrisi için Karbon Yakalama, Depolama ve Taşıma SWOT Analizi. İçinde: Decarbonization of Deniz Taşımacılığı, s. 117-140.
58. Longhurst GJ ve diğerleri (2020) Covid-19 pandemisine yanıt olarak Birleşik Krallık ve İrlanda Cumhuriyeti'nde anatomi eğitimine yapılan uyarlamaların gücü, zayıf yön, fırsat, tehdit (SWOT) analizi. *Anat Sci Educ* 13(3):301-311
59. Rezaei J (2015) En iyi-en kötü çok kriterli karar verme yöntemi. *Omega* 53:49-57
60. Salimi N, Rezaei J (2018) Firmaların Ar-Ge performansını en iyi en kötü yöntemi kullanarak değerlendirmek. *Değerlendirme Program Planı* 66: 147-155
61. Meidute-Kavaliauskienė I ve diğerleri (2021) İlaç Tedarik Zincirinde Yalın İnovasyon Uygulamalarının Değerlendirilmesi İçin Bütünleşik Bir Yaklaşım. *Lojistik* 5(4):74
62. Kayıkçı Y ve diğerleri (2022) Blok zinciri uygulaması için kritik başarı faktörleri-tabanlı döngüsel tedarik zinciri. *Bus Strateg Environ* 31(7):3595-3615
63. Gupta H ve diğerleri (2023) Akıllı, sürdürülebilir tarımsal lojistik sektöründe riskleri yönetmek için stratejilerin değerlendirilmesi: Bayesian tabanlı bir grup karar verme yaklaşımı ing approach. *Bus Strateg Environ* 67:89
64. Kumar P ve diğerleri (2021) Elektrikli araç bataryalarının sürdürülebilir tedarik zinciri için zorlukların Delphi ve Best- Worst Method hibrit yaklaşımı kullanılarak analiz edilmesi. *Resour Conserv Recycl* 175:105879
65. Alsalem M ve diğerleri (2019) BWM ve group-VIKOR'a dayalı otomatik eşleştirilmiş akut lösemi tespiti ve sınıflandırması için çok sınıflı kıyaslama çerçevesi. *J Med Syst* 43(7):1-32
66. Balezantis T, Siksnelyte-Butkiene I, Streimikiene D (2021) Belirsiz grup karar verme sürecine dayalı sürdürülebilir enerji gelişimi için paydaş katılımı: Yenilenebilir enerjili ısıtma teknolojilerinin önceliklendirilmesi ve BWM-WASPAS-IN yaklaşımı. *Sürdürülebilir Şehirler Soc* 73:103114
67. Zarrinpoor N, Khani A (2021) Karbon politikalarını dikkate alarak sürdürülebilir bir biyoyakıt tedarik zinciri tasarlamak: İran'da bir vaka çalışması. *Energy Sustain Soc* 11:1-22
68. Torkayesh AE, Malmir B, Asadabadi MR (2021) Sürdürülebilir atık bertaraf teknolojisi seçimi: Tabakalı en iyi-en kötü çok kriterli karar verme yöntemi-making method. *Atık Yönetimi* 122:100-112
69. Abdel-Basset M ve diğerleri (2019) Tip-2 nötrosofik sayı altında grup karar verme ile tedarikçi seçimi geliştirmek için TOPSIS tekniğine bir yaklaşım. *Appl Soft Comput* 77:438-452
70. Smarandache F (2002) Neutrosophic set - s e z g i s e l bulanık kümenin bir genellemesi. İçinde: New Mexico Üniversitesi. CiteSeer.
71. Araujo CAS, Wanke P, Siqueira MM (2018) Bra- zilya halk sağlığının performans analizi: TOPSIS ve sınır ağırları uygulaması. *Int J Product Perform Manag* 67:09
72. Norouzi A, Namin HG (2019) Mega projelerde risk önceliklendirmesi için hibrit bir bulanık TOPSIS-en kötü yöntem . *Civ Eng J* 5(6):1257-1272
73. Reshad AI ve diğerleri (2023) Gelişmekte olan bir ekonomi bağlamında sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetiminin önündeki engellerin ve stratejilerin değerlendirilmesi. *Bus Strateg Environ* 6:45
74. Nilashi M ve diğerleri (2019) Malezya'da medikal turizmin benimsenmesini etkileyen faktörler: Bir DEMATEL-Bulanık TOPSIS yaklaşımı. *Comput Ind Eng* 137:106005
75. Zhang X ve diğerleri (2018) Geliştirilmiş TOPSIS yöntemine dayalı olarak kentsel toplu taşıma öncelik p e r f o r m a n s ı n ı n değerlendirilmesi: Wuhan üzerine bir vaka çalışması. *Sürdürülebilir Şehirler Soc* 43:357-365
76. Hoseinpour M ve diğerleri (2018) Benzin fumigasyonunun B20 ile yakıtlanan bir dizel motorun performans ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisinin deneysel bir araştırma ve TOPSIS yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi. *Yakıt* 223:277-285
77. Diemuodeke E, Hamilton S, Addo A (2016) Nijerya'nın kıyı şeridi toplulukları için hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin çok kriterli değerlendirilmesi. *Enerji Sürdürme Topluluğu* 6:1-12
78. Avrupa Çevre Ajansı (2024) AÇA sera gazları - veri house-gases-viewer-data-viewersgörüntüleyici. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/green>
79. Gokasar I, Deveci M, Kalan O (2022) Neutrosophic fuzzy sets based decision making approach using CO2 Emission based prioritization of bridge maintenance projects. *Res Transp Econ* 91:101029
80. Deveci M, Simic V, Torkayesh AE (2021) Otomotiv Lityum-iyon bataryaları için yeniden üretim tesisi yer seçimi: Bütünleşik bir nötrosofik karar verme modeli. *J Clean Prod* 317:128438
81. Avrupa Alternatif Yakıtlar Gözlemevi (2024) <https://alternative-fuels-obs.ec.europa.eu/transport-mode/road/germanyervatory>
82. Umweltbundesamtumweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/uba- (2021) CO2-Preis im Verkehrssektor. https://www.kurzpapier_co2-preis_kliv.pdf
83. Bahn D (2022) Hedefinize yenilenebilir enerji ile ulaşın. <https://gruen.deutschebahn.com/en/measures/ice>

Yayıncının Notu

Springer Nature, yayınlanan haritalardaki yetki iddiaları ve kurumsal bağlantılar konusunda tarafsız kalmaktadır.