



VIII. Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi

13-14 Aralık 2024 | Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

<https://www.ulk.ist/>



Bulanık AHP Yöntemiyle Türkiye'de Taşımacılık Sektörü İçin Hidrojen Dolum İstasyonlarının Yer Seçimi

Yavuz Selim Çil

Lisans Öğrencisi,
Bursa Teknik Üniversitesi
yscil54@gmail.com

Melih Boz

Diğer,
Yeşilova Holding
melih.boz@yesilova.com.tr

Ömer Faruk EFE

Doç. Dr.,
Bursa Teknik Üniversitesi
omer.efe@btu.edu.tr

Özet

2053 yılına kadar karbon salınımını sıfıra indirme hedefi, iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir adım olup ulaşım sektörü bu hedefin gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Hidrojen enerjisi, sıfır emisyonlu araçlar için potansiyel bir yakıt kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli araçlar altyapı avantajları sayesinde hızla benimsenmişken, hidrojen teknolojisinin gelişmesi ve maliyetlerin düşmesiyle hidrojenli araçların da piyasada daha geniş yer bulması beklenmektedir. Ancak hidrojenli araçların yaygınlaşabilmesi için hidrojen dolum istasyonlarının sayısının artırılması gerekmektedir. Bu istasyonların doğru noktalarda konumlandırılması, hidrojenin ulaşım sektöründeki potansiyelini en iyi şekilde değerlendirebilmek için kritik öneme sahiptir. Karbon sıfır hedeflerine ulaşabilmek için hidrojen enerjisinin yaygın kullanımını destekleyecek altyapı yatırımlarının hızla yapılması gerekmektedir. Dünya genelinde iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve karbon ayak izinin azaltılması gibi küresel hedefler doğrultusunda, hidrojenin temiz enerji kaynağı olarak önemi giderek artmaktadır. Ülkemiz, 2021 yılında Paris Anlaşması'na taraf olmuş ve 2053 yılına yönelik "Net Sıfır Emisyon" hedefini açıklamıştır. TÜİK'in 2021 yılı seragazi emisyon envanteri verilerine göre: ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyonunun ,8'i karayolundan, %3,1'i havayolundan, %1,2'si denizyolundan, %0,4'ü demiryolundan ve %0,4'ü ise diğer ulaşım türlerinden kaynaklanmaktadır. Avrupa Çevre Ajansının 2024 Ekim ayında yayınladığı "Üye Devletlerin Sera Gazı (GHG) Emisyon Projeksiyonları" raporuna göre bu çalışmada odaklandığımız karayolu taşımacılığı hedeflerinde EU27 ülkelerinin projeksiyonları "1.A.3.b. Road Transportation" kategorisinde 2021 yılında 593.634,58 kiloton CO₂eq değerinin 2050 yılına gelindiğinde 420.209,23 kiloton CO₂eq olması öngörülmektedir. Bu bağlamda, alternatif yakıtların (elektrik ve hidrojen) gelişimi taşımacılık sektörünün karbon nötr olması için



oldukça önemlidir. Hidrojen teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, hidrojen dolun istasyonlarının doğru noktalarda konumlandırılması; sadece ekonomik açıdan değil, çevresel etkiler açısından da büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışma, taşımacılık sektöründeki hidrojen dolun istasyonlarının kurulacağı alanları seçerken göz önünde bulundurulması gereken faktörleri sıralamaktadır. Bu faktörler arasında; hidrojen üretim alanlarına yakınlığı, ticari faaliyeti yüksek alanlara yakınlığı, yüksek başlangıç maliyeti gibi unsurlar yer almaktadır. Bu çalışma, belirlenen değerlendirme kriterlerinin ağırlık oranlarının hesaplanması için ÇKKV yöntemlerinden olan Bulanık AHP kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında; üniversitedeki akademisyenlerden, sektör profesyonellerinden ve ilgili literatürden faydalanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de kurulacak hidrojen dolun istasyonlarının konumunun belirlenmesidir.

Anahtar Kelimeler:

bulanık AHP, hidrojen, hidrojen dolun istasyonu, karbon ayak izi azaltma, sürdürülebilir taşımacılık.

Site Selection of Hydrogen Refueling Stations for the Transportation Sector in Turkey Using Fuzzy AHP Method

Abstract

The goal of reducing carbon emissions to zero by 2053 is a critical step in combating climate change, with the transportation sector playing a significant role in achieving this target. Hydrogen energy stands out as a potential fuel source for zero-emission vehicles. While electric vehicles have been rapidly adopted due to their infrastructure advantages, with the development of hydrogen technology and the reduction in costs, hydrogen-powered vehicles are expected to gain a larger market share in the future. However, for hydrogen-powered vehicles to become more widespread, the number of hydrogen refueling stations must be increased. Proper placement of these stations is critical to fully harness the potential of hydrogen in the transportation sector. To achieve carbon neutrality, infrastructure investments that support the widespread use of hydrogen energy must be made rapidly. Globally, the importance of hydrogen as a clean energy source is increasing in line with global goals such as combating climate change, sustainability and reducing carbon footprints. Turkey became a party to the Paris Agreement in 2021 and announced its "Net Zero Emissions" target for 2053. According to the 2021 greenhouse gas emissions inventory of TÜİK, 94.8% of CO₂ emissions from the transportation sector originate from road transport, 3.1% from air



transport, 1.2% from sea transport, 0.4% from rail transport, and 0.4% from other modes of transport. According to the "Greenhouse Gas (GHG) Emissions Projections for EU Member States" report published by the European Environment Agency in October 2024, in the "1.A.3.b. Road Transportation" category, the EU27 countries' projections suggest that road transport CO2 emissions will decrease from 593,634.58 kilotons in 2021 to 420,209.23 kilotons by 2050. In this context, the development of alternative fuels (electricity and hydrogen) is crucial for achieving a carbon-neutral transportation sector. With the development of hydrogen technology, the proper positioning of hydrogen refueling stations becomes essential not only for economic reasons but also for minimizing environmental impacts. The study outlines the factors that must be considered when selecting locations for hydrogen refueling stations in the transportation sector. These factors include hydrogen transportation technology infrastructure, proximity to hydrogen production areas, proximity to areas with high commercial activity, investment incentives and subsidies, potential for future development, refueling station capacity, high initial costs and accessibility to energy infrastructure. In this study, the Fuzzy AHP method, a multi-criteria decision-making technique, was used to calculate the weightings of the identified evaluation criteria. The study benefited from input from university academics, industry professionals and relevant literature. The aim of this study is to determine the optimal locations for hydrogen refueling stations to be established in Turkey. ne stations for green hydrogen should be developed.

Keywords:

carbon footprint reduction, fuzzy AHP, hydrogen, hydrogen refuelling station, sustainable transportation



GİRİŞ

Günümüzde iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin önemi giderek artmaktadır. Bu hedeflere ulaşılmasında, ulaşım sektörü önemli bir paya sahiptir. Türkiye de bu küresel mücadeleye katkı sağlamak amacıyla 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefi koymuştur. Ulaşım sektörünün bu dönüşümdeki en önemli unsurlarından biri ise hidrojen enerjisinin yaygınlaşmasıdır. Hidrojen enerjisi, sıfır emisyonlu araçlar için umut verici bir yakıt kaynağı olarak gelecekte ulaşım sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak hidrojenli araçların yaygınlaşabilmesi için en kritik unsurlardan biri, hidrojen dolum istasyonlarının stratejik noktalarda kurulmasıdır.

Hidrojenli araçların yaygınlaşabilmesi için, uygun ve stratejik noktalarda hidrojen dolum istasyonlarının kurulması gerekmektedir. Bu istasyonların doğru konumlandırılması, hidrojenli araçların verimli ve erişilebilir olmasını sağlayacak ve böylece hidrojen enerjisinin taşımacılık sektöründeki potansiyel faydaları artırılabilecektir. Literatürde, dolum istasyonlarının yer seçiminde dikkate alınan birçok kriter bulunmaktadır. Bu kriterlerin doğru belirlenmesi ve ağırlıklarının hesaplanması, doğru yer seçimlerinin yapılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, Türkiye'deki hidrojen dolum istasyonlarının yer seçimi için Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma, hidrojen dolum istasyonlarının yer seçimine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Literatürde hidrojen dolum istasyonlarının yer seçiminde çeşitli yöntemler ve kriterler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Bulanık AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlık oranları hesaplanmıştır. Literatürde benzer çalışmaların bulunmasına rağmen (Tablo 1.), bu çalışmanın özgünlüğü, Türkiye'deki özel koşullara yönelik bir model öneriyor olmasıdır. Önerilen model, hidrojenli araçların yaygınlaşması için stratejik altyapı yatırımlarını hızlandırmaya katkı sağlayacağı hedeflenmektedir.

Tablo 1. Yer seçiminde ÇÖKV teknikleri kullanan çalışmalar

Yazar(lar)	Seçim Konusu	Kullanılan Yöntemler
(Aitzhanov, 2016)	Rüzgâr türbin santralleri	AHP
(Kaya, 2019)	Elektrikli araç şarj istasyonu	AHP, VIKOR
(Keser, 2019)	Afet lojistik deposu	AHP
(Yalçın, 2020)	Depo	AHP
(Xu, 2020)	Hidrojen dolum istasyonu	Bulanık DEMATEL
(Wu, 2020)	Hidrojen dolum istasyonu	TOPSIS, VIKOR
(Aybirdi, 2021)	Elektrikli araç şarj istasyonu	AHP, TOPSIS
(Razmjoo, 2021)	Hidrojen dolum istasyonu	Bulanık VIKOR
(Zhou, 2021)	Hidrojen dolum istasyonu	AHP, TOPSIS
(İnceyavuz, 2022)	Alışveriş merkezi	AHP
(Bilgilioğlu, 2022)	Elektrikli araç şarj istasyonu	Bulanık AHP
(Alkan, 2023)	Elektrikli araç şarj istasyonu	AHP
(Ofly, 2024)	Nükleer güç santrali	AHP, Bulanık TOPSIS
(Göbeloğlu, 2024)	Güneş enerjisi santrali	AHP, VIKOR

Çalışma, hidrojen dolum istasyonlarının yer seçimi konusunda yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu tür karar verme süreçlerinde çok kriterli analizlerin kullanılması, daha doğru ve etkili sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Gelecekte, bu modelin Türkiye'deki diğer bölgeler için uygulanabilirliğini test etmek, hidrojen altyapı yatırımlarının daha verimli yapılmasını sağlayacaktır.

MATERYAL VE METOT

Çalışmanın metodolojik yaklaşımında, kriter ağırlıklarının belirlenmesi için (Chang, 1996) çalışmasında önerilen Bulanık Genişletilmiş AHP uygulanmıştır. Bulanık AHP, karar verme süreçlerinde belirsizlikleri ve subjektif yargıları hesaba katarak her bir kriterin önem derecesini doğru bir şekilde belirlemeye olanak sağlar. Bu sayede, hidrojen dolmuş istasyonlarının yer seçiminde en verimli ve etkili sonuçlar elde edilmiştir. Yöntemin avantajı, karar vericilerin farklı görüşlerini ve belirsizlikleri dikkate alarak en doğru yer seçimlerinin yapılabilmesidir. (Efe, 2019)

Uzmanlar ikili karşılaştırma matrislerini oluştururken (Tablo 2.)’de gösterilen dilsel değişkenlerden faydalanmıştır. Her bir uzmanın ikili karşılaştırma matrisi tek bir ikili karşılaştırma matrisine aşağıdaki gibi dönüştürülür: Örneğin “hidrojenli araçların sayısı” kriteri “yüksek başlangıç maliyeti” kriterine göre üç karar verici tarafından sırasıyla şöyle ifade edilmiştir: (KDG), (ÇG), (MG) yani sayısal karşılıkları (3/2,2,5/2), (5/2,3,7/2), (7/2,4,9/2). Üç karar vericiye göre alt sınırın minimum, üst sınırın maksimum ve orta değerini ortalamaları alınarak tek bir bulanık sayı elde edilir. $\text{Min}(3/2,5/2,7/2)=3/2$. $\text{Maks}(5/2,7/2,9/2)=9/2$. $(2+3+4)/3=3$. Sonuç olarak üç karar vericinin ortak görüşü şöyle ifade edilir: (3/2,3,9/2).

Tablo 2. Kriterler için dilsel ifadeler ve sayısal karşılıkları

Tanım	Sayısal Oran
Mutlak Güçlü (MG)	(7/2,4,9/2)
Çok Güçlü (ÇG)	(5/2,3,7/2)
Kuvvetli Derecede Güçlü (KDG)	(3/2,2,5/2)
Biraz Güçlü (BG)	(2/3,1,3/2)
Eşit (E)	(1,1,1)
1/BG	(2/3,1,3/2)
1/KDG	(2/5,1/2,2/3)
1/ÇG	(2/7,1/3,2/5)
1/MG	(2/9,1/4,2/7)

Bulanık genişletilmiş AHP kısaca aşağıdaki gibidir (Chang, 1996); (Lee, 2009); (Shaw, 2012):

İki üçgensel bulanık sayı $M_1(m_1^-, m_1, m_1^+)$ ve $M_2(m_2^-, m_2, m_2^+)$ (Şekil 1.)’de gösterilmiştir (Lee, 2009). $m_1^- \geq m_2^-$, $m_1 \geq m_2$, $m_1^+ \geq m_2^+$ iken olabilirlik derecesi 1 olarak belirlenir. $V(M_1 \geq M_2) = 1$

En yüksek kesişim noktasının ordinatı yandaki gibidir: $V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu(d) = \frac{m_1^- - m_2^+}{(m_2 - m_2^+) - (m_1 - m_1^-)}$

Bulanık sentetik derece yandaki gibidir: $F_i \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$ $i = 1, 2, \dots, n$

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m m_{ij}^-, \sum_{j=1}^m m_{ij}, \sum_{j=1}^m m_{ij}^+), j = 1, 2, \dots, m, [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}^+}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}^-} \right)$$

$$V(F \geq F_1, F_2, \dots, F_k) = \min V(F \geq F_i), i = 1, 2, \dots, k$$

$$d(F_i) = \min V = W' \quad k = 1, 2, \dots, n \text{ ve } k \neq i$$

Kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi belirlenir:

$$W' = (W'_1, W'_2, \dots, W'_n)^T$$

Kriterlerin normalize edilmiş hali aşağıdaki gibidir:

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$$

Hidrojen dolum istasyonu yer seçimi için bulanık AHP yöntemi önerilmiştir. Beş kriter doğrultusunda değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Konunun sektörel uzmanları ve üniversitedeki akademisyenlerden oluşan 3 karar vericinin görüşleri anket yardımıyla alınmıştır. Karar vericilerin (uzmanların) görüşleri (Tablo 3.)’te gösterilmiştir. Kriter ağırlıkları belirlenirken bulanık AHP yaklaşımı uygulanmıştır. Bu bölümünde ifade edildiği gibi karar vericilerin görüşleri tek matriste birleştirilmiş, ikili karşılaştırma matrisi (Tablo 4.)’te sunulmuştur. Daha sonra kriterler önem ağırlıklarına göre sırasıyla: “Hidrojenli araçların sayısı” (0,2271), “Hidrojen üretim alanlarına yakınlığı” (0,2121), “Regülasyonlar, standartlar ve kanunlar” (0,1916), “Ticari faaliyeti yüksek alanlara yakınlığı” (0,1855), “Yüksek başlangıç maliyeti” (0,1837) olarak hesaplanmıştır. En önemli kriterin “Hidrojenli araçların sayısı”, en az önemli kriterin ise “Yüksek başlangıç maliyeti” olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Kriterler için karar vericilerin görüşleri

		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
U1	K ₁	E	E	E	1/KDG	BG
	K ₂	E	E	E	E	E
	K ₃	E	E	E	BG	BG
	K ₄	KDG	E	1/BG	E	BG
	K ₅	1/BG	E	1/BG	1/BG	E
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
U2	K ₁	E	KDG	ÇG	KDG	BG
	K ₂	1/KDG	E	KDG	BG	BG
	K ₃	1/ÇG	1/KDG	E	KDG	BG
	K ₄	1/KDG	1/BG	1/KDG	E	BG
	K ₅	1/BG	1/BG	1/BG	1/BG	E
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
U3	K ₁	E	BG	KDG	E	KDG
	K ₂	1/BG	E	E	KDG	KDG
	K ₃	1/KDG	E	E	BG	BG
	K ₄	E	1/KDG	1/BG	E	BG
	K ₅	1/KDG	1/KDG	1/BG	1/BG	E

Tablo 4. Kriter ağırlığı ve ikili karşılaştırma matrisi

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	Ağırlık										
K ₁	1,00	1,00	1,00	0,67	1,33	2,50	1,00	2,00	3,50	0,40	1,17	2,50	0,67	1,33	2,50	0,2271
K ₂	0,40	0,83	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,33	2,50	0,67	1,33	2,50	0,67	1,33	2,50	0,2121
K ₃	0,29	0,61	1,00	0,40	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	1,33	2,50	0,67	1,00	1,50	0,1855
K ₄	0,40	1,17	2,50	0,40	0,83	1,50	0,40	0,83	1,50	1,00	1,00	1,00	0,67	1,00	1,50	0,1916
K ₅	0,40	0,83	1,50	0,40	0,83	1,50	0,67	1,00	1,50	0,67	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	0,1837

Hidrojenli Araçların Sayısı

Hidrojen dolum istasyonlarının yer seçimi için en önemli kriterlerden biridir. Bu kriter, hidrojenli araçların kullanım yoğunluğunu ve pazar potansiyelini belirler. Hidrojenli araçların sayısı, dolum istasyonlarının verimliliği açısından kritik bir faktördür çünkü istasyonlar aktif olarak kullanılan araçlar için hizmet sunmaktadır.

Eğer bir bölgedeki hidrojenli araç sayısı fazla ise, burada kurulacak bir dolum istasyonu daha yüksek kullanıcı talebine hitap edebilir, bu da istasyonun işletme maliyetlerini karşılamada daha hızlı bir geri dönüş sağlar. Dolayısıyla, hidrojenli araçların sayısının fazla olduğu bölgelerde dolum istasyonları açmak yatırımların daha verimli olmasını sağlar. Bu kriter, istasyonların başarısı için doğrudan bir gösterge olarak kabul edilir ve hidrojenli araçların sayısının arttığı bölgelerde dolum istasyonu yatırımlarının yoğunlaşması gerektiğini gösterir.

Hidrojen Üretim Alanlarına Yakınlık

Hidrojen dolum istasyonlarının etkinliği açısından çok önemli bir faktördür. Hidrojen, özellikle yeşil enerji yöntemleriyle üretildiğinde çevresel faydalar sağlar; ancak hidrojenin taşınması, üretim noktasına olan uzaklıkla orantılı olarak yüksek maliyetler oluşturabilir. Bu nedenle, hidrojen dolum istasyonları, hidrojen üretim tesislerine mümkün olduğunca yakın yerlerde konumlandırılmalıdır.

Hidrojen üretim tesislerine yakınlık, dolum istasyonlarının hidrojen tedarikini daha verimli ve ekonomik bir şekilde sağlamasını mümkün kılar. Üretim tesislerinin çevresindeki altyapı ve lojistik kolaylıkları, dolum istasyonlarının operasyonel maliyetlerini azaltır. Hidrojenin taşınması ve depolanması ciddi bir maliyet kalemi oluşturduğundan hidrojen üretiminin yoğun olduğu bölgelerde dolum istasyonları kurarak bu maliyetler minimize edilebilir.

Ticari Faaliyeti Yüksek Alanlara Yakınlık

Hidrojen dolum istasyonlarının; ticari faaliyetin yoğun olduğu bölgelerde yer alması, kullanıcı potansiyelini artırmak için önemli bir faktördür. Ticari faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde ticari taşıma araçlarının, lojistik firmalarının ve toplu taşıma araçlarının fazla olması muhtemeldir. Bu araçlar, hidrojenli araçlar için potansiyel kullanıcılar oluşturur. Bu tür bölgelerdeki araçların sıklığı, dolum istasyonlarının daha yüksek bir kullanım oranına ulaşmasını sağlar.

Ticari faaliyeti yüksek alanlarda, örneğin sanayi bölgeleri, lojistik merkezleri, büyük alışveriş merkezleri veya şehir merkezlerine yakın bölgelerde kurulan istasyonlar daha verimli çalışacaktır. Bu alanlarda trafik yoğunluğu daha fazla olup, hidrojenli araçların sayısının artması beklenmektedir. Ticari alanlardaki dolum istasyonları, genellikle yüksek araç trafiği sayesinde daha fazla gelir elde etme potansiyeline sahip olacaktır. Bu nedenle ticari faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde dolum istasyonlarının stratejik olarak yer alması, istasyonların ekonomik sürdürülebilirliği için kritik öneme sahiptir.

Regülasyonlar, Standartlar ve Kanunlar

Hidrojenli araçlar ve dolum istasyonları, güçlü bir yasal altyapıya ve regülasyonlara ihtiyaç duyar. Bu kriter, hidrojen enerjisinin ve dolum istasyonlarının yer seçiminde dikkate alınması gereken yasal düzenlemeleri ifade eder. Hidrojen dolum istasyonlarının kurulumu ve işletmesi, belirli standartlara ve yasal çerçevelere tabidir. Bu regülasyonlar, çevresel etkilerden güvenlik önlemlerine kadar birçok unsuru kapsar.

Dolayısıyla, hidrojen dolum istasyonlarının kurulumunun yapılacağı bölgelerde, mevcut yasal düzenlemelerin ve regülasyonların uyumlu olması gerekmektedir. Yasal engellerin ve kısıtlamaların bulunmadığı bölgeler, istasyonların kurulması ve işletilmesi açısından daha verimli ve güvenli olacaktır. Bu kriter, hidrojenin tedarik zincirindeki tüm süreçlerin yasal olarak düzenlenmesini sağlar ve dolum istasyonlarının yönetmeliklere uygun olmasını temin eder. Regülasyonlar; ayrıca güvenlik standartlarını, çevresel etkileri ve ilgili izinleri kapsar, bu nedenle yasal çerçevenin doğru belirlenmesi önemlidir.

Yüksek Başlangıç Maliyeti

Hidrojen dolum istasyonlarının kurulumu, başlangıçta yüksek maliyetler gerektiren bir yatırımdır. Bu maliyetler, altyapı kurulumu, hidrojen depolama sistemleri, teknolojik altyapı, inşaat ve güvenlik önlemleri gibi birçok faktörü içerir. Dolayısıyla, yüksek başlangıç maliyeti, dolum istasyonlarının yer seçimi sürecinde önemli bir kriterdir. Yatırımcılar, başlangıç maliyetlerinin yanı sıra, işletme maliyetlerinin de düşük olacağı yerleri tercih ederler.

Bu kriter, özellikle hidrojen dolum istasyonlarının kurulumunun yapılacağı yerlerin, başlangıç maliyetlerini karşılayabilecek potansiyel taşıyan bölgeler olmasını sağlar. Başlangıç maliyetinin yüksek olduğu bölgelerde, devlet teşvikleri, sübvansiyonlar veya özel sektör iş birlikleri gibi destek mekanizmalarının bulunması gerekebilir. Bu nedenle, yer seçiminde yüksek başlangıç maliyetini telafi edebilecek ekonomik koşullar ve potansiyel gelir kaynakları dikkate alınmalıdır.

Bu 5 kriter, hidrojen dolum istasyonlarının yer seçimi sürecindeki en kritik faktörlerdir ve her bir kriter, hidrojenli araçların yaygınlaşması için gerekli altyapı yatırımlarının etkin ve verimli bir şekilde yapılmasına katkı sağlar. Bu kriterlerin dikkate alınarak yapılan bir yer seçimi çalışması, hidrojen enerjisinin taşımacılık sektöründeki potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkaracak ve karbon sıfır hedeflerine ulaşmak için önemli bir adım olacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'de hidrojenli araçların yaygınlaşabilmesi için gerekli hidrojen dolum istasyonlarının yer seçiminde dikkate alınması gereken kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler, literatür taraması ve konu uzmanlarından alınan görüşler doğrultusunda oluşturulmuş ve daha sonra anket çalışmasıyla değerlendirilmiştir.

İlk aşamada, hidrojenli dolum istasyonları ve elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimleri ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, hidrojen dolum istasyonlarının yer seçiminde etkili olabilecek 15 kriter tespit edilmiştir. Bu kriterler, çeşitli kaynaklardan alınan bilgiler ve önceki çalışmalardan elde edilen bulgular doğrultusunda belirlenmiştir.

Daha sonrasında, bu 15 kriter arasından en uygun 10 tanesi seçilerek 45 adet puan gerektiren bir Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) kriter kıyaslama anketi hazırlanmıştır. Anket, Türkiye'deki hidrojen enerjisi ve taşımacılık sektörlerinde deneyime sahip akademisyenler ve sektör profesyonelleri ile paylaşılmıştır. Anketin amacı, her bir kriterin önem derecesinin belirlenmesi ve bu kriterler arasındaki ilişkilerin sıralanmasıydı. Anket sonuçlarının toplanmasının ardından uzmanlardan alınan geri bildirimler doğrultusunda, kriter sayısı 5'e indirgenmiştir. "Hidrojenli Araçların Sayısı (K₁)", "Hidrojen Üretim Alanlarına Yakınlık (K₂)", "Ticari Faaliyeti Yüksek Alanlara Yakınlık (K₃)", "Regülasyonlar, Standartlar ve Kanunlar (K₄)", "Yüksek Başlangıç Maliyeti (K₅)"

Bu 5 kriter, hidrojenli dolum istasyonlarının yer seçimi sürecinde dikkate alınması gereken temel unsurlardan olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu kriterlerin belirlenmesinde, anket sonuçlarından elde edilen ağırlıklar doğrultusunda en önemli faktörler seçilmiştir. Hidrojen dolum istasyonu yer seçiminde en önemli kriter "Hidrojenli araçların sayısı" ve en az etki eden kriter ise "Yüksek başlangıç maliyeti" olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre yer seçiminde hidrojenli araçların fazla olduğu bölgeler dolum istasyonu kurulumu için önceliklidir.

ÖNERİLER VE SONRAKİ ÇALIŞMALAR

Altyapı Yatırımlarının Hızlandırılması

Hidrojenli araçların yaygınlaşması için gerekli olan altyapı yatırımlarının hızla artırılması gerekmektedir. Bu çalışma, dolum istasyonlarının yer seçiminde hangi kriterlerin daha öncelikli olduğuna dair bilgiler sunarak, yatırımcılar ve ilgili kamu kurumları için yol gösterici olabilir. Altyapı yatırımlarının, hidrojenli araçların potansiyel kullanım alanlarına yakın bölgelerde yoğunlaşması sağlanarak daha verimli bir ağ kurulabilir.

Regülasyon ve Yasal Düzenlemeler

Regülasyonların ve yasal düzenlemelerin belirlenmesi, hidrojen dolum istasyonlarının güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi için önemlidir. Bu bağlamda, hidrojen enerjisinin kullanımını teşvik edecek ve sektördeki belirsizlikleri azaltacak yasal çerçevelerin oluşturulması gerekmektedir.

İleriye Dönük Stratejiler

Hidrojen dolum istasyonları yer seçimi ve bu altyapının kurulumu, sadece mevcut talebi karşılamakla kalmamalı, aynı zamanda gelecekteki gelişmeleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, hidrojenli araçların sayısının artması, hidrojen üretim kapasitesinin genişlemesi ve ticari faaliyetin yoğunlaşacağı bölgelerdeki yatırımlar için uzun vadeli stratejiler geliştirilmelidir.

Alternatif Yer Seçimlerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, belirlenen kriterlere göre farklı yer alternatifleri değerlendirilecek ve bu alternatiflerin en uygun yer seçimi farklı karar verme yöntemleri ile yapılması planlanmaktadır. Alternatiflerin doğru bir şekilde belirlenmesi, daha verimli ve etkili sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- <https://cevresehgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu-i-85790> adresinden alındı
- Aitzhanov, C. (2016). SITE SELECTION TECHNIQUE FOR WIND TURBINE POWER PLANTS UTILIZING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP).
- Alkan, T. (2023). Elektrikli araç şarj istasyonları için AHP yöntemi ile uygun yer seçimi: Konya örneği. *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci.*, 2023; 12(1), 193-199.
- Aybirdi, C. B. (2021). ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU LOKASYONLARININ ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE SEÇİLMESİ: ANKARA'DA VAKA ÇALIŞMASI.
- Bilgilioğlu, S. S. (2022). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi. *AKU J. Sci. Eng.* 22 015501, 165-174.
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
- Efe, Ö. F. (2019). Hibrid Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Temelinde İş Güvenliği Uzmanı Seçimi. *Journal of Science and Technology* 12(2), 639-649.
- Göbeloğlu, E. D. (2024). TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YER SEÇİMİNİN AHP-VİKOR HİBRİT YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.
- İnceyavuz, H. (2022). COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (CBS) TABANLI ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP) YARDIMIYLA ALIŞVERİŞ MERKEZLERİ İÇİN UYGUN YER SEÇİMİ: ADANA ŞEHİR ÖRNEĞİ.
- Kaya, Ö. (2019). ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYON KONUMLARININ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.
- Keser, İ. (2019). A GIS BASED AHP SITE SELECTION METHOD FOR A DISASTER LOGISTICS WAREHOUSE: A GAZİANTEP CASE.
- Lee, A. H. (2009). A fuzzy supplier selection selection model with the consideration of benefits opportunities, costs and risks. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2879-2893.
- Oflu, T. (2024). TÜRKİYE'DE KURULMASI OLASI BİR NÜKLEER GÜÇ SANTRALİ YER SEÇİMİNİN BULANIK AHP VE BULANIK TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ.
- Razmjoo, A. (2021). Accurate location planning for a wind-powered hydrogen refueling station: Fuzzy VIKOR method. *International journal of hydrogen energy* 46 33360-33374.
- Shaw, K. S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39, 8182-8192.
- Wu, B. D. (2020). A review of hydrogen station location models. *International journal of hydrogen energy*.
- Xu, C. (2020). What are the critical barriers to the development of hydrogen refueling stations in China? A modified fuzzy DEMATEL approach. *Energy Policy* 142 111495.
- Yalçın, G. C. (2020). ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE DEPO YER SEÇİMİNE DAİR BİR UYGULAMA.
- Zhou, J. (2021). Geographic information big data-driven two-stage optimization model for location decision of hydrogen refueling stations: An empirical study in China. *Energy* 225 120330.