

Sıkıştırılmış Doğal Gaz (CNG) Lojistiğinde Risk Faktörlerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Risk Factors in Compressed Natural Gas (CNG) Logistics

Sultan Çoşkun Kaya^{1*} 
Senem Nart² 

¹ Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu,
Türkiye,
sultancoşkun@kastamonu.edu.tr,
ror.org/015scty35

² Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi,
Balıkesir, Türkiye,
snart@bandirma.edu.tr,
ror.org/02mtr7g38

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author



Geliş Tarihi/Received: 26.07.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 26.02.2025
Yayınlanma Tarihi/ Available Online:
20.03.2025

Öz: Dünya genelinde tehlikeli madde kullanımı sürekli artış göstermektedir. Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) bu tehlikeli maddelerden biridir. Hem önemli bir enerji kaynağı hem de tehlikeli bir madde olan sıkıştırılmış doğal gazın lojistik faaliyetleri -ihtiva ettiği riskler sebebiyle- oldukça önemli bir mesele haline gelmektedir. Bu çalışmada sıkıştırılmış doğal gaz literatürde sıklıkla incelenenin aksine araç yakıtı olarak değil endüstriyel alandaki kullanımı bakımından ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, CNG lojistiğindeki risk faktörlerinin ve bu faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesidir. Birbirini tamamlayan iki aşamadan oluşan bu çalışmada ilk olarak 12 kişilik uzman grubu ile mülakat yapılmış ve veriler MAXQDA 2020 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu aşamada sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde 5 ana ve 33 alt risk faktörü tespit edilmiştir. Ana faktörler: İnsan, firma, malzeme ve dolmuş, araçları durumu, çevre ve trafiktir. İkinci aşamada ise aynı katılımcılar ile AHP (Analytic Hierarchy Process) tekniğinden yararlanılarak anket yapılmıştır. Bu aşamada ilk aşamada elde edilen risk faktörleri kendi aralarında kıyaslanmış ve önem derecelerine göre sıralanmıştır. Çalışmanın nihayetinde CNG lojistiği faaliyetleri esnasında en önemli görülen faktör "insan" (%29,36) faktörü olarak ortaya çıkarken "çevre" (%10,30) faktörü katılımcılar tarafından daha az önemli görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tehlikeli Madde Lojistiği, CNG, CNG Lojistiği Risk Faktörleri

Abstract: The use of hazardous substances is constantly increasing worldwide. Compressed natural gas (CNG) is one of these hazardous materials. Logistics activities of compressed natural gas, which is both an important energy source and a dangerous substance, are becoming a very important issue due to the risks involved. In this study, compressed natural gas is discussed in terms of its use in the industrial field, not as a vehicle fuel, contrary to what is frequently studied in the literature. The aim of the study is to determine the risk factors in CNG logistics and the importance of these factors. In this study, which consists of two complementary stages, an interview was first conducted with a group of 12 experts and the data was analyzed using the MAXQDA 2020 program. At this stage, 5 main and 33 sub-risk factors have been identified in compressed natural gas logistics. Main factors: People, company, material and filling, vehicle condition, environment and traffic. In the second stage, a survey was conducted with the same participants using the AHP (Analytic Hierarchy Process) technique. At this stage, the risk factors obtained in the first stage were compared among themselves and ranked according to their importance. At the end of the study, the most important factor during CNG logistics activities was the "human" factor (29.36%), while the "environment" factor (10.30%) was seen as less important by the participants.

Keywords: Hazardous Goods Logistics, CNG, CNG Logistics Risk Factors

Extended Abstract

This study aims to determine the risk factors in compressed natural gas logistics operations and the importance of these factors. Compressed natural gas (CNG Compressed Natural Gas) is obtained by compressing conventional natural gas under a certain pressure. It is listed among the 9 classes of hazardous materials in international hazardous materials conventions. Every movement of dangerous goods within the scope of logistics activities poses a risk to all living things and the environment in the area of influence. Therefore, the logistics operations of dangerous goods require a higher level of attention than the logistics operations of normal goods. Compressed natural gas logistics refers to the

whole operation of compressing natural gas under a certain amount of pressure, loading it into transportation units, and delivering it to the point of need in cases where it is not geographically and/or economically suitable to deliver natural gas to the point of need through pipelines. Compressed natural gas has many uses as vehicle fuel, heating, cooking, and industry. Although compressed natural gas is mostly used as vehicle fuel worldwide, its most intensive use in Türkiye is in the industrial field. When the literature is examined, it has been determined that most studies on compressed natural gas are limited to the cost and/or performance of compressed natural gas used as fuel in vehicles. This study is about compressed natural gas (bulk CNG) for which logistics operations are carried out for use in areas other than fuel. No risk assessment study regarding bulk CNG has been found in the literature, and this study was carried out to fill the gap in question. This study, which focuses on compressed natural gas delivered to points of need by road vehicles within the borders of Türkiye, consists of two stages. In the first stage of the study, a semi-structured interview questionnaire was prepared with the help of expert opinions, using the study conducted by Bali and Göztepe (2014) as a scale. Interview questions consisting of 6 questions were asked to the participant group, which included officials working in CNG logistics. First, data was collected from the participants using the interview technique, allowing them to focus on the subject. In this way, their answers to the survey in the second research stage were thought to reflect reality better. In this context, interviews were conducted, assuming the survey data quality would increase. These discussions included questions such as "What are the risk factors considered important in compressed natural gas logistics?", "Is it necessary to remove or add to the presented factors?" Answers to these questions were sought. As a result of content analysis of the data obtained at this research stage with the MAXQDA 2020 program, 5 main and 33 sub-risk factors that are effective in CNG logistics emerged. The 5 main factors that cause risks in compressed natural gas logistics are People, company, material and filling, vehicle condition, environment and traffic. In this way, the first phase of the research was completed, and the second phase started. Using the data obtained in the first stage of the research, an AHP (Analytical Hierarchy Process) survey was created, which will allow comparison of the main criteria with each other and the sub-criteria with each other, and the same group of participants was asked to score the survey. In the second stage of the research, "What is the most important risk factor that causes risks in compressed natural gas logistics operations?" The answer to the question has been sought. As a result of the analysis of the data obtained from this stage, the main risk factor seen as the most important in compressed natural gas logistics is the "human" factor (29.36%), followed by the "company" (21.77%) and "condition of the vehicles" (20%), respectively. 93 factors were revealed to be the most important main risk factors. The main factors considered less important are "material and filling" (17.37%) and "environment and traffic" factors (10.30%). In compressed natural gas logistics risk assessment, the factor with the highest importance among 33 sub-factors is "maintenance of vehicles" (8.05%), followed by "compliance with the rules" (7.56%) and "training" (6.28%). has been seen. Among the 33 sub-risk factors, the risk factors that appear to be less important than others in compressed natural gas logistics operations and are ranked last are "temperature" (0.53%), "amount of hazardous substances" (0.76%), and "ecological structure" (was obtained as 0.89%). It is thought that with the data obtained from this study, CNG logistics stakeholders can create an accurate risk policy by being informed about the factors that cause risk in CNG logistics. Thanks to such a risk policy, businesses can detect dangers and have the advantage of timely intervention without causing major losses. In addition, identifying risk factors will make it possible to communicate clearly about these factors. It is thought that knowing which CNG logistics risk factors are more important will guide decision-makers in CNG logistics on which factors they will invest in and develop more. It is thought that determining the risk factors and their importance levels in CNG logistics will provide benefits for businesses in reducing risks and preventing dangerous events, as well as economic growth, ensuring public health and sustainable development for states.

1. Giriş

Kimyasal ve fiziksel yapıları gereği elde edilmesi, işlenmesi, depolanması, paketlenmesi, kullanılması, ellelenmesi, atılması ve sevk edilmesi çevreye, insanlara ve doğal hayata potansiyel zararı bulunan tüm maddelere tehlikeli maddeler denilmektedir (şengr, 2018, s. 177). Küreselleşen ticaret ve sanayideki gelişmelerin bir neticesi olarak gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tehlikeli madde kullanımı her geçen gün artış göstermektedir. Birçok sektörde ve hayatın her alanında risklerine maruz kalabilme ihtimalimiz olan bu maddelerin kaza olasılıkları düşük, neden olduğu sonuçların yüksek etkili olduğu bilinmektedir. Tüm dünya üzerinde sürekli hareket halinde bulunan bu maddelerin potansiyel tehlikeleri sebebiyle, lojistik faaliyetleri ayrı bir dikkat ve zen gerektirmektedir. Normal eşyanın lojistik işleminden farklı olarak tehlikeli madde lojistiği özel ekipman ve kalifiye insan kaynağı gerektirmektedir (Danışman, 2019, s. 46). Buradan hareketle tehlikeli olmayan eşyanın lojistik operasyonları esnasında maliyet unsuru ilk olarak göz önüne alınırken, tehlikeli madde lojistiğinde öncelik insan ve evre sağlığının güvence altına alınmasıdır. Bu sebeple tehlikeli madde lojistiğinde maliyet bazlı endişeler ikinci sırada yer almaktadır (Yıldıztekin, 2018).

Doğal gaz, tüm dünyaca tanınan 9 adet tehlikeli madde sınıfının içinde "Sınıf 2 Gazlar" bölümünde yer almaktadır. Doğal gaz diğer fosil kökenli yakıtlar arasında en ucuz ve karbondioksit emisyonları açısından en avantajlı yakıt olarak bilinmektedir. Dolayısıyla doğal gazın kullanımı, dünyayı tehdit eden en önemli problemlerden biri olan küresel ısınma meselesine olan endişeleri azaltmaktadır. Petrol ve kömürden daha temiz bir yakıt olması ve nükleer güç gibi tartışmalı bir enerji kaynağı olmaması sebebiyle dünya enerji tüketiminin en hızlı büyüyen bileşkesinin doğal gaz olması beklenmektedir (Diler vd., 2008). Tüm bu avantajlarının yanı sıra doğal gaz tehlikeli bir maddedir ve canlı hayatının sürdürülebilirliğine karşı potansiyel riskler barındırmaktadır.

Bu çalışmanın konusunu sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) temsil etmektedir. Coğrafi engeller ve ekonomik kaygılar sebebiyle ihtiyaç duyulan her alana boru hattı ile doğal gaz ulaştırılması mümkün olmamaktadır. Bu sebeple doğal gaza farklı işlemler uygulanıp lojistik süreçleri farklılaştırılarak kullanım alanları artırılabilir. CNG, yani doğal gazın sıkıştırılması bu yöntemlerden biridir. Doğal gazın kullanıldığı tüm alanlarda rahatlıkla kullanılabilen CNG, taşıma ünitelerine doldurularak büyük sanayi işletmelerinden daha kk firmalara kadar geniş bir alanda doğal gaz talebine cevap verebilecek şekilde taşınmaktadır (Dökme CNG). Ayrıca CNG araç yakıtı olarak da kullanılmaktadır (OTO CNG). CNG'nin dünya çapında yoğun olarak kullanım şekli araç yakıtı olarak kullanımınıdır. Türkiye' de ise dökme CNG kullanımı OTO CNG kullanımından oldukça yüksektir ve her geçen gün toplam CNG kullanımı artmaktadır (EPDK, 2020, s. 51).

Sıkıştırılmış doğal gazın lojistik faaliyetleri canlılar ve evre için çeşitli riskleri içinde barındırmaktadır. Risk yönetiminin etkin bir şekilde yapılabilmesi için riskin gerçekleşmesine sebep olabilecek her türlü olayın, durumun veya etkenin (risk faktörü) nceden belirlenmesi tehlikeli madde lojistiğinden etkilenecek tüm taraflar için önem arz etmektedir. Genel olarak tehlikeli maddelerin lojistik işlemleri, tüm paydaşlar (gönderen, paketleyen, yükleyen, dolduran, taşıyan, alıcı, boşaltan) için tehlikeli maddenin salıverilmesi ve bunlarla ilgili riskler sebebiyle tehlike içermektedir. Tehlikeli maddelerin dökülmesi- salınması vb. olaylar ciddi çevresel hasarlar ve tüm paydaşlar için sağlık sorunlarına yol açarken aynı zamanda sorumlu kurum-kuruluşlar için önemli ekonomik kayıplara (hukuki mücadeleler, mal kayıpları) da sebep olabilmektedir. Bu durum doğrultusunda riskin değerlendirilmesi ve azaltılması tüm tarafların faydasına olacaktır. Risk faktörlerinin ve risk faktörlerinin önem derecelerinin belirlenmesi işletmeler açısından riskleri azaltma ve tehlikeli olayları engelleme faydasının yanı sıra devletler için de ekonomik büyüme, toplum sağlığını güvence altına alma ve sürdürülebilir kalkınma konularında gelişimine katkı sağlayacaktır.

Tüm bu bilgiler göz önüne alındığında sıkıştırılmış doğal gazın lojistik operasyonlarında (can, mal ve evre sağlığı için) etkin bir risk yönetiminin yapılabilmesi için risk faktörlerinin tespit edilmesi ve önem

derecelerinin belirlenmesi bir gereklilik olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu araştırmaya başlarken ilgili alan yazın titizlikle taranmış tehlikeli madde lojistiği ile ilgili birçok çalışma olmasına karşın, dökme CNG ile ilgili yeterli çalışma olmadığı görülmüştür. Sıkıştırılmış doğal gazı konu alan önceki çalışmaların ise büyük çoğunluğunun Oto CNG ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmalar; CNG direkt enjeksiyonlu CNG/benzinli DFSI motorun yanma ve emisyon özellikleri (Sun vd., 2024), CNG akaryakıt istasyonları için uygun yerlerin değerlendirilmesinde CBS, AHP ve TOPSIS'in Entegrasyonu Hibrit Çok Kriterli Karar Verme (Attari vd., 2024), CNG ve dizelle çalışan motorların karşılaştırması (Mohanty & Paul, 2023), CNG yakıt ikmal istasyonunun analizi (Targhi vd., 2016), CNG yakıt istasyonunda enerji tasarrufu için optimizasyon çalışmaları (Kagiri vd., 2017), çevre dostu yakıt olarak CNG (Khan vd., 2015), doğal gaz yakıtlı otobüslerin sera gazı emisyonlarına etkisi (Diler vd., 2008), CNG araçlarının Türkiye'de uygulama alanları (Irgalı, 2019), CNG dolmuş istasyonlarında yangınla mücadele (Tezören, 2012) başlıklarında incelenmiştir. Görüldüğü gibi söz konusu çalışmalar sıkıştırılmış doğal gazın araç yakıtı olarak kullanılması (Oto CNG) çerçevesinde incelenmiştir. Söz konusu çalışmaların da büyük bir çoğunluğunun fiyat, maliyet, performans ve çevresel etkiler konuları çerçevesinde ele alındığı görülmüştür. Bu çalışma diğer tehlikeli madde lojistiğinde risk faktörlerini ele alan çalışmalardan tek bir tehlikeli maddenin (CNG) üzerine yoğunlaşması ve karma araştırma yöntemleri (nitel+nicel) kullanılarak tamamlanmasıyla farklılık göstermektedir. Ayrıca bu çalışmanın, literatürdeki benzerlerinin aksine Oto CNG yerine Dökme CNG ile ilgili olması ve ayrıca konuyu lojistik açısından ele alması sebebiyle alan yazındaki birçok çalışmadan farklılık göstermektedir. Yukarıdaki bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı, sıkıştırılmış doğal gazın temin noktasından çıkarak ihtiyaç noktasına ulaştırılması ve tüm lojistik operasyonun planlanması esnasında riskin ortaya çıkmasına sebep olabilecek risk faktörlerinin belirlenmesi ve bu faktörlerin önem derecelerinin ortaya konmasıdır. Buradan hareketle araştırma kapsamında "Sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde ortaya çıkabilecek risk faktörleri nelerdir ve bu risk faktörlerinin önem sıralaması nasıl olmalıdır?" sorusuna cevap aranmaktadır. Bu doğrultuda alan yazındaki boşluğu doldurmak ve dolayısıyla politika, yasa yapıcılar ve diğer tüm tehlikeli madde lojistiği paydaşlarına risk yönetimi açısından fayda sağlamak amacı ile bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

2. Kavramsal Çerçeve/Literatür Taraması

2.1. Tehlikeli madde lojistiği ve tehlikeli madde lojistiğinde risk faktörleri

İçeriği veya bileşimleri nedeniyle, genel güvenliği, sağlığı, düzeni, doğal hayatı ve toplumu tehlikeye atabilecek maddeler tehlikeli madde olarak tanımlanmaktadır (Korkmaz vd., 2014, s. 87; Erdal, 2018, s. 936). Tehlikeli madde lojistiği, söz konusu tehlikeli malın depolanması, elleçlenmesi, paketlenmesi ve taşınması vb. operasyon süreçlerinin tamamından oluşmaktadır (Erdal, 2018; Danışman, 2019, ss. 46-49).

Tehlikeli maddelerin lojistik operasyonları gerçekleştirilirken kötü sonuçlar doğuracak birçok durum ortaya çıkabilmektedir. Bu durumların meydana gelmesine sebep olan birçok risk faktörü/ etmeni vardır. Tehlikeli madde işlemlerinde risklere yol açan faktörlerinin tespiti olaylara müdahale etmeyi veya aksiyon almayı kolaylaştıracak böylece can ve mal kayıplarının önüne geçilebilecektir (Yalçınkaya vd., 2020, s. 977).

Risk, uzun yıllardır farklı bilim dallarında birçok araştırmacı tarafından ele alınmış bir konudur. Bununla birlikte tehlikeli maddelerin lojistik operasyonlarında da risk birçok araştırmacının ilgisini çeken bir konu olmuştur. Alan yazına bakıldığında tehlikeli madde lojistiği faaliyetlerinde risk çalışmalarının büyük bir kısmının taşımacılık faaliyeti kapsamında ele alındığı gözlenmiştir. Fabiano ve arkadaşları (2002), risk etmenlerini; olumsuz hava şartları, trafik koşulları ve yolun karakteristik başlıklarında ele almıştır. Sun ve arkadaşları (2003), 117 tipik tehlikeli madde taşıma vakasının nedenlerini analiz etmiş ve toplamda 263 neden elde etmiş ve bunları şu şekilde özetlemişlerdir: 77 adet uygun olmayan idare, 66 adet araçlardan, paketlenme tesislerinden ve ekipmanlar açısından yaşanan eksiklikler, 51 adet trafik ve çevresel problemler, 69 adet insan hatası. Liu ve arkadaşları

(2005), çalışmalarında 4 başlıkta ele aldıkları risk faktörlerini; taşıtlardan kaynaklanan nedenler, idari (yönetimsel) nedenler, ambalaj ve ekipman, trafik şartları, çevre ve insanlar tarafından yasa dışı veya yanlış kullanımlar olarak belirlemişlerdir. Chen ve arkadaşları (2007), 5 başlıkta incelemişlerdir. Bunlar; personeller, araçlar, acil kurtarma, tehlikeli maddeler, güvenlik izleme ve yol ve çevredir. Ren ve Wu (2007), ise taşıma hatları, araç durumu, personel kalitesi ve güvenlik yönetimi olarak risk faktörlerini sınıflandırmışlardır. Liu ve arkadaşları (2006), riskin ortaya çıkmasına etki eden faktörleri yol/çevre, nüfus yoğunluğu ve trafik şartları olarak sınıflandırmışlardır. Shang ve arkadaşları (2008), çalışmalarında tehlikeli madde taşımacılığı risk faktörlerini 3 ana grupta incelemiştir. Bunlar; insan, malzeme ve çevredir. Zhao ve arkadaşları (2012), tehlikeli madde taşımacılığında risk faktörlerini 3 başlıkta açıklamıştır. Bunlar; insan, paketleme ve yükleme, araçlar ve tesislerdir. Dumlupınar ve Öztürkoğlu (2019), Bali ve Göztepe (2014), yaptıkları çalışmalarda tehlikeli madde risk faktörlerini 5 maddede incelemiştir. Bunlar; insan, işletme/şirket, malzeme ve paketleme, araçların/taşıtların durumu, çevre ve trafiktir. Ambituuni ve arkadaşları (2015), yaptıkları petrol ürünü taşımacılığı risk değerlendirmesinde risk faktörleri; insandan kaynaklanan, insandan kaynaklanmayan ve diğer risk faktörleri olarak üç kısma ayrılmıştır. Xing ve arkadaşları (2020), tehlikeli madde kazalarına katkısı olan risk faktörlerini; tehlikeli maddenin türü, sürücü, mekan, çevre, araç kaza faktörleri olarak bölümlendirmiştir. Yang ve arkadaşları (2018), çalışmalarında risk faktörlerini; insan, çevre, malzeme ve yönetim olarak ayırmışlardır. Chen ve arkadaşları (2019) tehlikeli madde taşımacılığı risk değerlendirme kriterlerini 4 kriter olarak belirlemişlerdir. Bunlar; insan, yönetim, çevre ve ekipmandır. Ayyıldız ve Gümüş (2021), tehlikeli madde risk etmenlerini ise yol, çevre, trafik, araç, malzeme olarak kategorize etmişlerdir.

Yapılan alışmalar incelendiğinde tehlikeli madde risk faktörleri bazı noktalarda ayrılık gösterse de temelde benzer konuları işaret edilmektedir. İşaret edilen beş temel başlık; insan, işletme/şirket/firma, malzeme ve paketleme, araçların/taşıtların durumu, çevre ve trafik faktörleridir. Bu faktörler ilgili birçok alt faktöre ayrılmaktadır (Shang vd., 2008; Dumlupınar & Öztürkoğlu, 2019; Bali & Göztepe, 2014). Bazı alışmalar risk faktörlerini belirleyip ardından bunları önem derecesine göre değerlendirmiştir. Örneğin; Shang ve arkadaşları (2008), Zhao ve arkadaşları (2012), Ambituuni ve arkadaşları (2015), Bali ve Göztepe'nin de (2014) yaptıkları tehlikeli madde risk değerlendirme çalışmalarında insan kriterini en önemli risk faktörü olarak tespit ettikleri görülmüştür. Bununla birlikte Shang ve arkadaşları (2008) ve Bali ve Göztepe (2014), Chen ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmalarda çevre faktörünü tehlikeli madde taşımacılığı esnasında en az öneme sahip kriter olarak tespit etmişlerdir. Bunun aksine Ayyıldız ve Gümüş'ün (2021), yaptıkları risk değerlendirme çalışmasında görelî önemi en yüksek ana kriter çevre faktörü olarak belirlenmiştir.

2.2. Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve Dökme CNG lojistik faaliyetleri

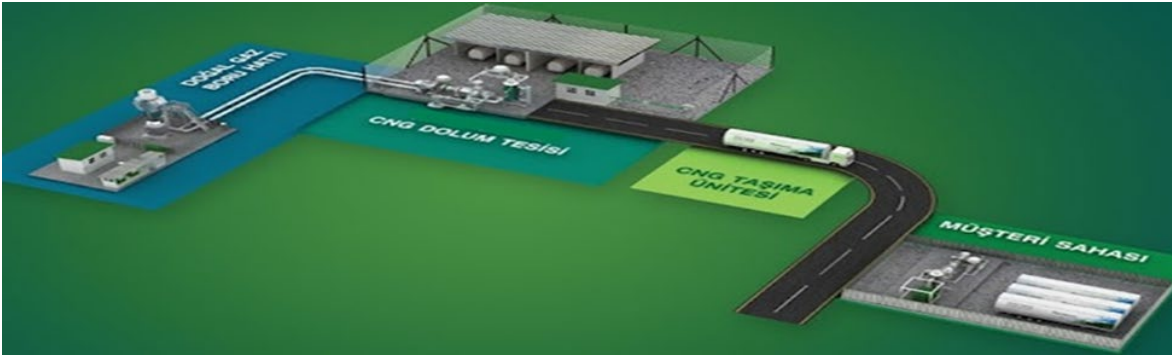
Enerji, taşıma ve sanayi sektörlerinde doğal gaz kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (GAZBİR, 2021, ss. 7-8). Günümüzde birçok alanda kullanılan doğal gaz enerji ve ısı üretiminde vazgeçilmez bir yakıt haline gelmektedir. CNG, uluslararası literatürde sıkıştırılmış doğal gaz için kullanılan kısaltmadır. Compressed Natural Gas kelimelerinin baş harfleriyle oluşmuştur ve Türkçede karşılığı sıkıştırılmış doğal gazdır (BRC, 2021; Çetiner, 2019, s. 25).

Dökme CNG, doğal gazın boru hattı ile ulaşamadığı (coğrafi uygunsuzluk sebebiyle) ya da ulaşmasının iktisadi açıdan uygun olmadığı noktalara gaz ulaştırmanın farklı yollarından biridir. Burada doğal gaz belirlenen basınç altında sıkıştırarak hacmi küçültülür ve uygun kaplara yüklenir. Daha sonra bu kaplar taşınabilir bir şekilde ihtiyaç noktasına ulaştırılır. Dökme CNG; kimya, inşaat malzemeleri üretimi, metal sanayilerde endüstriyel amaçla (Naturel gaz, 2021), boru hattı tesisatı ile ısınmayan haneler, işyerleri vb. noktalarda ısıtma amacıyla, gıda sektöründe ise sıcak ve kızgın su, kızgın yağ, pişirme ve kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır (LNGCNG, 2021).

Sıkıştırılmış doğal gazın lojistik süreci Şekil 1’ de gösterildiği gibi doğal gazın boru hattından veya LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) olarak tutulan depolardan çekilip dolun tesislerinde özel kompresörler yardımıyla 200-250 bar basınca varana kadar sıkıştırılması ile başlamaktadır. Daha sonra sıkıştırılan bu doğal gaz CNG stok ünitelerinin (çok elemanlı gaz konteynerleri) içine konumlandırılmış tüplere doldurularak CNG taşıma araçları ile ihtiyaç duyulan noktalara (müşteri sahalarına) taşınmaktadır. Müşteri sahasında bulunan basınç düşürücü sistem yardımı ile sıkıştırılmış doğal gazın basıncı düşürülerek 2-8 bar aralığında müşteriye arz edilmektedir. CNG’nin temel lojistik faaliyetleri sıralanacak olursa şöyledir: Yükleme (dolum), taşıma (sevkiyat) ve boşaltma (EPDK, 2020, s. 50; Naturelgaz, 2021). Sıkıştırılmış doğal gaz tehlikeli madde sınıfı (Sınıf 2 Gazlar) içinde yer aldığından tüm lojistik faaliyetlerinin usulü ulusal ve uluslararası konvansiyon, yönetmelik, kanun vb. gibi kurallar çerçevesinde belirlenmiştir. Bu çalışmada karayolu ile CNG taşımacılığı incelenmektedir ve karayolu ile tehlikeli maddelerin taşınmasında ulusal mevzuatların yanı sıra ADR’ ye (Karayolu ile Tehlikeli Maddelerin Taşınmasına İlişkin Uluslararası Anlaşma) tabi olunmaktadır (ADR, 2018, s. 133).

Şekil 1

Dökme CNG Lojistik Süreç Modeli



Kaynak: Naturelgaz, 2021.

Sıkıştırılmış doğal gaz dolunu CNG dolun tesislerinde gerçekleştirilmektedir. CNG dolun işlemi ulusal şebeke hattından tedarik edilen ve 35-70 bar basınç seviyesinde olan doğal gazın uygun tesisat yardımı (doğal gaz kompresörü) ile 200 bara kadar basıncı artırılarak sıkıştırılması ile başlamaktadır. Sonraki adım sıkıştırılan bu doğal gazın eş zamanlı olarak çok elemanlı gaz konteynerlerine veya gaz tankerlerine yüklenmesidir. Böylece dolun işlemi tamamlanmış olmaktadır. Bu operasyonda sadece ulusal doğal gaz şebeke hattından alınan doğal gaz değil aynı zamanda LNG sıvılaştırılmış doğal gazın yeniden gazlaştırılması ile de gaz tedariği sağlanabilmektedir. Fakat sıvılaştırılmış gazın yeniden gaz haline getirilip ve tekrar sıkıştırılması yüksek maliyetlere yol açacağından bu yöntem pek tercih edilmemektedir. Bu çalışmanın kapsamını ulusal şebeke hattından tedarik edilen doğal gazın sıkıştırılması ile yapılan CNG lojistik operasyonu oluşturmaktadır (Çetiner, 2019, s. 37).

Sıkıştırılmış doğal gazın yüklenmesi için farklı boyutlarda tüpler ve çekiciler bulunmaktadır. Çeşitli kapasitelerdeki tüplere veya tankerlere yüklenen sıkıştırılmış doğal gaz dolun işleminin tamamlanmasıyla uygun çekiciler yardımı ile doğal gazın boru hattı ile ulaşmadığı noktalara sevk edilmektedir. İhtiyaç noktasına getirilen CNG, boşaltım için ayrılan noktaya getirilmekte ve müşterilerin kullanması için gaz yüklü birimler boşaltım noktasında bırakılmaktadır. Çekiciler gaz üniteleri olmaksızın tesise dönerek başka bir CNG operasyonunda kullanılması için hazır bulundurulmaktadır (Çetiner, 2019, s. 39). CNG taşımacılığı özel belgelere ve donanıma sahip şoförler tarafından gerçekleştirilmektedir.

200 bar seviyelerine kadar sıkıştırılarak ihtiyaç sahasına getirilen CNG’nin kullanılması için basıncını 1 – 10 bar seviyelerine düşürülmesi gerekmektedir. İhtiyaç noktasına getirilen konteynerler basınç düşürme istasyonlarına yanıştırılır. Daha sonra yüksek basınca uygun ekipmanlar aracılığı ile tüketim hattına bağlanarak bu basınç düşürme işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Böylece gaz tedariği

sağlanmış olmaktadır. İhtiyaç noktasında gaz tüketimi devam ettikçe çok elemanlı gaz konteyneri içindeki gaz basıncı azalacaktır. Zamanla azalan gaz basıncı konteynerlerin içindeki gaz bitene kadar devam edecektir. Gaz bitişinin ardından ihtiyaç devam etmesi halinde lojistik süreçler tekrarlanacaktır (Çetiner, 2019, s. 27).

3. Yöntem

3.1. Araştırmanın örnekleme, veri toplama yöntemleri ve araştırmada kullanılan ölçek

Araştırmanın örnekleminin oluşturulmasında amaçlı örnekleme tekniklerinden biri olan ölçüt örnekleme yönteminden yararlanılmıştır. Bu teknikte amaç araştırmanın katılımcılarının, araştırma konusu ile ilgisi ve bilgisi olan kişilerden oluşturulmasıdır (Patton, 2002). Bu kapsamda Türkiye taşımalı doğal gaz sektöründe öncü olan bir CNG lojistiği firmasının çalışanları bu çalışmanın örnekleme grubunu oluşturmaktadır. 12 uzmandan oluşan bu örnekleme grubu, sıkıştırılmış doğal gaz lojistiği tesislerinde lojistik faaliyetlerinden sorumlu olarak farklı birimlerde görev almaktadırlar. Araştırmanın örnekleminin belirlenmesi aşamasında ise; CNG lojistik operasyonlarında süreçlerin planlanması, organize edilmesi ve risk faktörlerinin belirlenmesinde aktif olarak rol alan çalışanların olması dikkate alınmıştır. Araştırmanın veri toplama süreci Temmuz 2021 tarihinde başlamış ve Kasım 2021 tarihinde tamamlanmıştır. Araştırmanın başlarında (Temmuz- Ağustos, 2021) Covid 19 vakalarının ciddi boyutlara henüz ulaşmaması sebebiyle uzmanların bazıları (3 kişi) ile yüz yüze görüşme fırsatı bulunmuştur. Vakaların yükselmesinin ardından (Eylül- Kasım, 2021) bazı uzmanlar (9 kişi) ile de görüşmeler telefon görüşmesi, e- mail ve whatsapp olmak üzere üç iletişim aracı ile kullanılarak uzaktan gerçekleştirilmiştir. Araştırmada yarı yapılandırılmış mülakat görüşmesi ve anket olmak üzere iki veri toplama tekniği kullanılmıştır. Bu çalışma için Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulunun 03.06.2021 tarihli ve 5 sayılı toplantısının 2021-5 nolu kararı ile etik kurul onayı alınmıştır.

Araştırmaya katılan uzmanlardan tamamı erkek olmak üzere; 1 tesis müdürü, 1 lojistik yöneticisi, 1 planlama mühendisi, 9 lojistik operasyon sorumlusu olarak çalışmaktadır. Uzmanların taşımalı CNG sektöründe görev süreleri ise, 1 – 15 yıl aralığındadır. Uzmanlar sıkıştırılmış doğal gaz lojistiği tesislerinde lojistik faaliyetlerin konusu olan farklı birimlerde çalışan kişilerdir. Uzmanların eğitim seviyeleri birbirinden farklıdır (lise, ön lisans, lisans) bununla birlikte uzman grubu çeşitli alanlardan (işletme, lojistik, mühendislik) mezun olmuş farklı kişileri barındırmaktadır. Bu kişiler bir CNG lojistiği firmasında istihdam edilmeleri ve dolayısıyla aktif bir şekilde lojistik süreçlere katılmaları sebebiyle bu çalışmanın örnekleme olarak seçilmişlerdir. Dökme CNG lojistik operasyonu ile ilgili yazılı olarak erişilecek veriler (CNG işletmelerinin sunduğu veriler) yeterli değildir. Bu sebeple CNG lojistiğinde risk faktörlerinin ve risk faktörlerinin önem derecelerinin anlaşılması için bu sektörde istihdam edilen personellerden elde edilecek bilgiler kritik önem arz etmektedir ve bu durum araştırmanın örnekleme seçiminde temel faktör olmuştur.

Alan yazın ve uzman görüşleri değerlendirilerek teori ve yöntem üçgenleme tekniklerinden yararlanılan bu çalışmada hem nicel hem de nitel veri toplanmıştır. Dolayısıyla araştırmanın veri toplama yöntemi farklı zamanlarda gerçekleştirilen iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. Geniş kapsamda alternatif bakış açılarının ortaya çıkmasını sağlaması, araştırmaya katılanları destekleyici olması ve çalışılan olgunun daha iyi kavranmasını mümkün kılması bakımından fayda yaratacağı düşünüldüğünden veri elde etme süreci böylelikle belirlenmiştir.

İlk olarak araştırmada gerekli olan verilerin elde edilmesi için nitel araştırma yöntemlerinden mülakat tekniği kullanılmıştır. Bu doğrultuda ilgili alan yazın titizlikle taranmış ve araştırmanın amacına hizmet edeceği düşünüldüğü için Bali ve Göztepe'nin (2014), yaptıkları çalışmada geliştirmiş oldukları tehlikeli madde taşımacılığında risk değerlendirme endeksinden ve uzman görüşlerinden yararlanılarak mülakat soru formu hazırlanmıştır.

İkinci aşama ise, tespit edilen ana ve alt kriterlerin CNG lojistiği risk yönetimi sürecindeki görece önem derecesinin hesaplanmasından oluşmaktadır. Bu amaç doğrultusunda ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmasından oluşan bir anket formu hazırlanmıştır.

3.2. Araştırmada kullanılan karar verme ve analiz yöntemleri

Araştırmanın iş akışı aşağıdaki adımlar takip edilerek gerçekleştirilmiştir.

- Literatür taraması (Bali & Göztepe, 2014) ve uzman görüşü alınarak mülakat sorularının yarı yapılandırılmış olarak hazırlanması,
- Mülakat görüşmelerinin yapılması,
- Mülakat görüşmelerinin analiz edilmesi (CNG lojistiği risk faktörlerinin belirlenmesi),
- Mülakat görüşmelerinden elde edilen veriler ile anket (AHP) sorularının hazırlanması,
- Katılımcılar tarafından anket sorularının cevaplanması,
- Anket cevaplarının analiz edilmesi (CNG lojistiği risk faktörlerinin önem derecelerinin belirlenmesi).

İlk olarak araştırmada gerekli olan verilerin elde edilmesi için nitel araştırma yöntemlerinden yarı yapılandırılmış mülakat tekniği kullanılarak bir ön çalışma yapılmıştır. Bu doğrultuda ilgili alan yazın titizlikle taranmış ve araştırmanın amacına hizmet edeceği düşünüldüğü için Bali ve Göztepe'nin (2014), yaptıkları çalışmada geliştirmiş oldukları tehlikeli madde taşımacılığında risk değerlendirme endeksinden ve uzman görüşlerinden yararlanılarak mülakat soru formu hazırlanmıştır. Mülakat ile CNG lojistiğinde insandan, firmadan, araçların durumundan, malzeme ve dolumdan, çevre ve trafikten kaynaklanan risk faktörleri nelerdir sorularına cevap aranmıştır. Katılımcıların mülakatı tamamlamasının ardından elde edilen veriler MAXQDA 2020 paket programı ile analiz edilmiş böylece veriler ana ve alt kriterler olarak kategorize edilmiştir. Bu aşamada CNG lojistiğinde riske sebep olabilecek faktörler belirlenmiştir. 5 ana ve 33 alt risk faktörü (kriterler) elde edilmiştir. Bu yöntem ile araştırmanın ilk aşaması tamamlanmış ve araştırmanın ikinci aşaması olan anket ile veri toplama aşamasına geçilmiştir. Katılımcılardan ilk olarak mülakat tekniği ile veri toplanarak konu üzerine odaklanmaları sağlanmış ve bu sayede ankette verecekleri cevapların gerçeği daha iyi yansıtacağı düşünülmüştür. Bu kapsamda anket verilerinin kalitesinin artacağı varsayılmıştır. İkinci aşama, belirlenen (birinci aşamada) kriterlerin ve alt kriterlerin CNG lojistiği risk yönetimi sürecindeki görece önem derecesinin hesaplanmasından oluşmaktadır. Değerlendirme kriterlerinin risk yönetimi sürecindeki görece önem derecesinin hesaplanması amacıyla kriterlerin ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmasından oluşan bir anket formu (AHP) hazırlanmıştır. Anket formu toplam yedi bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm ana kriterlerin (yani insan, firma, malzeme ve dolum, araçların durumu, çevre ve trafik) kendi aralarındaki ikili karşılaştırmalarından oluşmaktadır. Devam eden beş bölümde her bir kritere ilişkin alt kriterler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Son bölüm ise katılımcılara ilişkin demografik bilgileri içermektedir. Anket formu toplam 103 ikili karşılaştırma ve 4 demografik sorudan oluşmaktadır. Hazırlanan anket formu (aynı katılımcılar ile farklı bir zaman diliminde tekrar iletişime geçilmiştir) katılımcılara ulaştırılmış ve anketi doldurmaları istenmiştir. Süreç sonunda elde edilen veriler AHP tekniğinden yararlanılarak analiz edilmiş ve böylece CNG lojistiğinde görülen risk faktörlerine bir hiyerarşik yapı kazandırılmıştır. Özetle çalışmanın amacı kapsamında CNG lojistik faaliyetlerinde riske neden olan faktörleri belirlemek amacıyla; ilk aşamada katılımcılar ile yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmış elde edilen veriler, içerik analizi ile analiz edilmiştir. İkinci aşamada, nitel analiz sonucu ortaya çıkan CNG lojistiğindeki risk faktörlerinin AHP tekniği ile ağırlıklı ortalamaları alınmış ve önem derecesine göre sıralanması gerçekleştirilmiştir. AHP'nin en önemli varsayımlarından biri, aynı seviyede bulunan kriterlerin birbirlerinden bağımsız olması varsayımdır (Ömürbek & Şimşek, 2014). Her seviyede birbirinden bağımsız olan kriterlerin belirlenmesi noktasında

ise uygulamanın ilk aşamasında uzman katılımcıların görüşleri alınmış ve böylece kriterler belirlenmiştir. Karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıda incelemesi ve optimal kararın verilmesinde kritik olan kriterleri sistematik olarak değerlendirerek, kriterlere yönelik öncelik sıralarını hesaplaması sebebiyle AHP tekniği seçilmiştir. Başka bir deyişle bu çalışmada, CNG lojistiğinde riskin ortaya çıkmasına sebep olan faktörlerin önem derecesinin ne olduğu tespit edilmek istenmiştir. AHP tekniği, kriterlerin ağırlıklı ortalamasını elde etmeye imkan tanıdığından bu yöntem çalışmaya dahil edilmiştir.

3.2.1. MAXQDA ile içerik analizi

Sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde risk faktörlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesini amaçlayan bu çalışmada ön çalışma olarak nitel araştırma yöntemlerinden mülakat tekniği kullanılmıştır. Elde edilen verilerin analizinde içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Analizin yapılmasında MAXQDA 2020 paket programından faydalanılmıştır.

İçerik analizi; metinlerden teorik sonuçlar çıkarılması amacıyla oluşturulan bir araştırma yöntemidir (Cohen vd., 2007). İçerik analizi, önceden belirgin olmayan boyut ve temaların görünür kılma sürecini oluşturmaktadır. İçerik analizi sayesinde veriler incelenerek birbirine benzer yanları olanlar bir tema çerçevesi altında birleştirilmekte ve daha sonra bu veriler okuyucuların anlayabileceği şekilde düzenlenerek yorumlanmaktadır (Kahyalıoğu, 2016, s. 50).

1989 yılında piyasaya çıkarılan MAXQDA, birçok veriyi analiz etmeyi kolaylaştıran bir nitel veri analizi programıdır. Bu program araştırmacılara verileri kodlama, analiz etme ve sonuçları görselleştirme imkânı sunmaktadır. Bu yazılım sayesinde araştırmacılar yazılı dokümanlar haricinde görüntü, ses kayıtları hatta Twitter vb. gibi sosyal medya platformlarından veri aktarımını bile mümkün kılmaktadır. MAXQDA araştırmacılara onlarca veri içinden araştırma sorularına yanıt verecek veriyi kolayca ayırt edebilme imkânı sunmakla birlikte söz konusu verinin kapsamlı ve derinlemesine incelemesini de kolaylaştırmaktadır. MAXQDA ile veri analizi süreci; verilerin kodlanması, temaların tespiti, verilerin kodlara ve temalara göre biçimlendirilmesi ve tanımlanması ile bulguların yorumlanması şeklinde dört aşamadan oluşmaktadır (Denzin & Lincoln, 2005; Miles & Huberman, 1994). Bu programda ilk olarak araştırma kapsamında elde edilen veriler “belge sistemi” yazan kısma aktarılmaktadır. Ardından verileri keşfetme süreci başlamaktadır. Bu süreç verilerin titizlikle incelenip çözümlenmesi faaliyetini kapsamaktadır. Ardından çözümlenen veriler kodlanmaktadır. Kodlama işlemi yapılırken birbirine benzer olan veriler temalar altında birleştirilmekte ve daha sonra bu temalar kategorileştirilmektedir. MAXQDA’da son adım ise analiz edilen verilerin görselleştirilmesidir. Bu yöntem araştırmacıya çeşitli görsel yöntemler ile sonuçların dışarı aktarılmasını sağlamaktadır.

3.2.2. AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi)

Araştırmanın ikinci aşamasında ilk aşamadaki nitel çalışma sonucunda elde edilen veriler ile AHP anket formu hazırlanmış ve bu yöntem ile risk faktörlerinin önem derecelerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

AHP, karar verme süreçlerine destek olması amacıyla Saaty tarafından 1970’li yıllarda geliştirilen ve 1980 yılında detaylarıyla açıklanan çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Bu yöntem uzman görüşleri ve birçok değerlendirme başlığının beraber incelenmesini mümkün kılmaktadır.

AHP yöntemi altı aşamada özetlenebilmektedir. İlk aşamada karmaşık bir karar problemi hiyerarşik bir yapıda düzenlenmektedir. Başka bir deyişle araştırmanın amacı, kriterleri, alt kriterleri ve (eğer varsa) alternatifler arasındaki bağlantıyı gösteren hiyerarşik yapının ortaya çıkarılması AHP sürecinin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu yapı ile problemin doğru bir şekilde yapılandırılması kolaylaşmaktadır (Nart vd., 2017, ss. 382-383).

İkinci aşamada kriterler ve alt kriterler kendi aralarında ikili karşılaştırmaya tabi tutulmaktadır. AHP tekniği ile ikili karşılaştırmalar yapılırken Tablo 1’ de gösterilen 9 seviyeli bir ölçek kullanılmaktadır.

Karar vericiler ya da uzmanlar tarafından yapılan bu karşılaştırmalar ile uzman görüşleri karar sürecine dahil edilmiş olmaktadır (Saaty, 1994; Bhutta & Huq, 2002).

Tablo 1

AHP Karşılaştırma Ölçütü

| Tanım | Önem Skala Değeri |
|------------------------------|-------------------|
| Eşit önemli | 1 |
| Biraz önemli | 3 |
| Kuvvetli derecede önemli | 5 |
| Çok kuvvetli derecede önemli | 7 |
| Kesin önemli | 9 |
| Ara değerler | 2,4,6,8 |

Üçüncü aşamada uzmanlar tarafından karşılaştırılması yapılan kriter ve alt kriterlerin sonuçları kullanılarak karşılaştırma matrisi ortaya çıkarılmaktadır. Bu adımda kriter sayısı n olan ikili karşılaştırmanın sonucu olarak $n \times n$ boyutlu bir karşılaştırma matrisi (A) elde edilmektedir. a_{ij} , i satır sayısını ve j sütun sayısını göstermek üzere, i . kriter ile j . kriterin karşılaştırma değerini ifade etmektedir. Aşağıda örnek bir karşılaştırma matrisi gösterilmektedir (Nart vd., 2017, ss. 382-383).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Dördüncü aşamada, karşılaştırma matrisi normalize edilmektedir. Normalize edilen karşılaştırma matrisinin (B) oluşturulabilmesi için, A matrisinin her bir elemanının, sütun toplamına bölünmesi gerekmektedir. Bu işlemin yapılabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Nart vd., 2017, ss. 382-383).

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

Beşinci aşamada, B matrisinin her bir satırının ortalaması alınarak kriter ağırlıkları (w) belirlenmektedir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Nart vd., 2017, ss. 382-383).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Altıncı aşamada ise, elde edilen sonuçların tutarlı olup olmadığı ölçülmektedir. Bu yöntemde elde edilen çıktıların kalitesi ile yapılan karşılaştırmaların tutarlılığı arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır (Bali & Göztepe 2014). Nihayetinde elde edilen kriter ağırlıkları karar vericilerin nesnel yargılarını barındırmaktadır. Dolayısıyla söz konusu yargıların güvenilir olup olmadıklarının ölçülmesi gerekmektedir. Sonuçların tutarlılığı için aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Nart vd., 2017, ss. 382-383).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Bu formülde CR tutarlılık oranını, CI tutarlılık indeksini, RI ise rassal indeksi göstermektedir (Bhutta & Huq, 2002). Tutarlılık indeksi aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$$

λ_{max} en yüksek öz değeri, n ise kriter sayısını göstermektedir. Öte yandan RI ise kriter sayısına bağlı olarak değişmektedir. Aşağıdaki Tablo 2' te RI değerleri gösterilmektedir (Saaty, 1980).

Tablo 2

Karşılaştırma Matrislerinin Boyutlarına Göre RI Değerleri

| Kriter Sayısı (n) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rassal İndeks (RI) | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Genel kabul görmüş bir kural olarak, CR değeri 0,1'den küçük eşitse sonuçların tutarlılığı kabul edilebilir bir seviyede demektir. CR değerinin 0,1'den daha büyük çıkması halinde ise uzman görüşlerinin tutarlı olmadığı, bu sebeple de çıktıların güvenilir olmadığı kabul görmektedir (Bali & Göztepe, 2014, s. 673).

3.3. Analiz ve bulgular

3.3.1. Nitel alışma

Araştırmanın uygulaması iki aşamada gerçekleşmiştir. Birinci aşamada, CNG lojistiğinde risk değerlendirmesinin dolayısıyla risk yönetiminin etkin bir Şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli olan ana ve alt risk faktörlerinin ortaya çıkarılması amacıyla ilk olarak nitel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla araştırmada kullanılan ölçekler kısmında bahsedildiği üzere Bali ve Göztepe (2014), tarafından geliştirilen bir risk değerlendirme indeksi kullanılarak mülakat soru formu hazırlanmış ve görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Ardından nitel çalışma kapsamında yapılan tüm görüşmeler analiz edilmek üzere MAXQDA 2020 programına aktarılmıştır. Bu aşamanın akabinde ise temalar ve kodlar MAXQDA programına girilmiş, ardından elde edilen veriler cümleler halinde ilişkili oldukları tema ve kodlara aktarılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan temalar ve kodlar Tablo 3' te gösterilmiştir.

Tablo 3

Analiz Kapsamındaki Tema ve Kodlar

| Temalar | Kodlar |
|-------------------------|--|
| İnsan Faktörü | Eğitim |
| | Personelin duygusal veya psikolojik durumu |
| | Tecrübe |
| | Kurallara riayet |
| | İletişim ve koordinasyon becerisi |
| | Yaş |
| | Fiziksel durum |
| | Tehlikeli madde güvenlik danışmanı |
| | Mevzuata riayet |
| | Dokümantasyon ve raporlama sistemi |
| Firma Faktörü | Acil durum planı |
| | Güvenlik ve kalite değerlendirme sistemi |
| | Teknoloji kullanımı |
| | Ramak kala kayıt sistemi |
| | Tehlikeli maddenin miktarı |
| Malzeme ve Dolum | Maddenin tehlike nceliği |
| | Konteyner ve dolum |
| | nleyici veya sonrasında müdahale ekipmanı |
| | İşaretleme ve etiketleme |
| | Ekipmanların teknik donanımı ve kalibrasyonu |

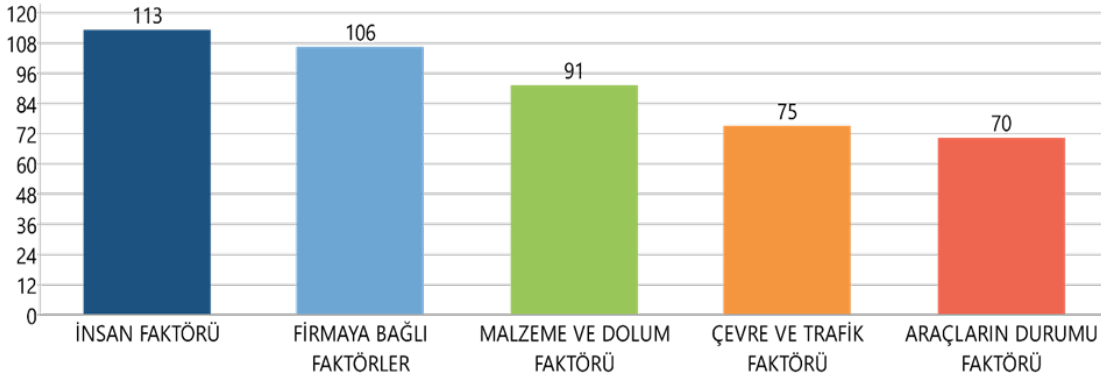
Tablo 3 (Devamı)

| | |
|-------------------------|---|
| Araçların Durumu | Bilgi akışı ve GPS ile takip Araçların bakımı Araçların yaşı Araçların kapasitesi Araçın yerleştirilmesi Araçtaki acil durum donanımı Araçın yükleme ve boşaltılması Nüfus yoğunluğu Sıcaklık |
| Çevre ve Trafik | Yol şartları Kaza oranı Ekolojik yapı Trafik yoğunluğu |

Mülakat görüşmesi kapsamında elde edilen verilerin analiz edilerek temalar ve kodlar altında ayrıştırılması sonucunda sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde 5 ana ve 33 alt risk faktörleri ortaya çıkarılmıştır. Sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde ana risk faktörleri temalar olarak alt risk faktörleri ise kodlar olarak yukarıda bulunan Tablo 3'te açıkça gösterilmiştir. Verilerin MAXQDA' da analizi ile belirlenen risk faktörlerinin sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde etki dereceleri ortaya çıkarılmıştır. Ana risk faktörlerinin frekans değerleri Şekil 2' deki gibidir.

Şekil 2

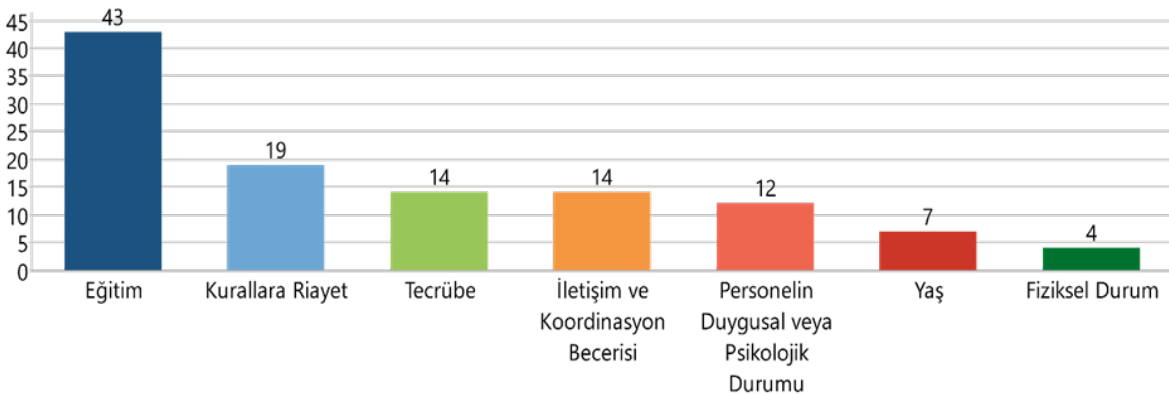
Risk Faktörlerine İlişkin Frekans Grafiği



Şekil 2' de görüldüğü üzere katılımcılar tarafından CNG lojistiğinde ana risk faktörleri için üretilen görüşlere ilişkin 5 kod ortaya çıkmış ve bunlar "CNG lojistiğinde risk faktörleri" kategorisini oluşturmuştur. Katılımcılar tarafından en fazla "insan faktörü" kategorisinde görüş üretilmiştir (f=113).

Şekil 3

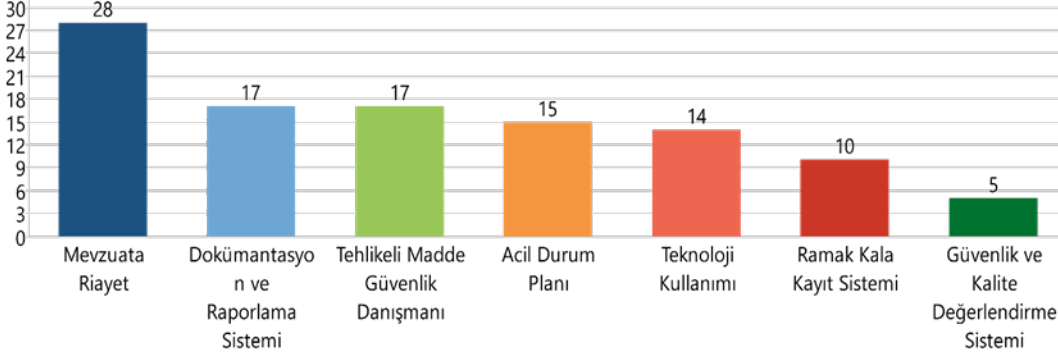
İnsan Faktörüne İlişkin Frekans Grafiği



CNG lojistiğinde insandan kaynaklanan risk faktörlerine yönelik üretilen görüşler neticesinde 7 kod belirmiş ve bunlar “insan faktörü” temasını oluşturmuştur (Şekil 3). Katılımcılarca en çok “eğitim” kodunda görüş üretilmiştir (f=43).

Şekil 4

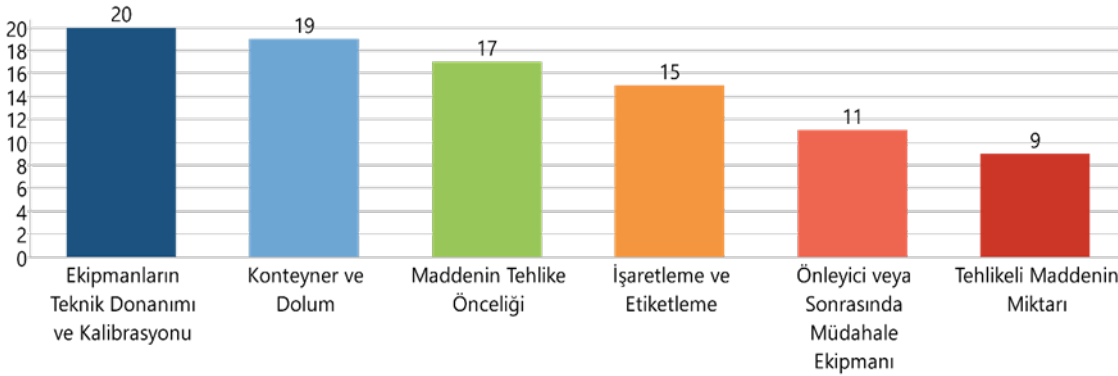
Firmaya Bağlı Faktörlere İlişkin Frekans Grafiği



Katılımcılar tarafından CNG lojistiğinde firmadan kaynaklanan risk faktörlerine yönelik üretilen görüşler neticesinde 7 kod şekillenmiş ve bunlar “firmaya bağlı faktörler” temasını oluşturmuştur (Şekil 4). Katılımcılar tarafından en fazla “mevzuata riayet” kodunda görüş üretilmiştir (f=28).

Şekil 5

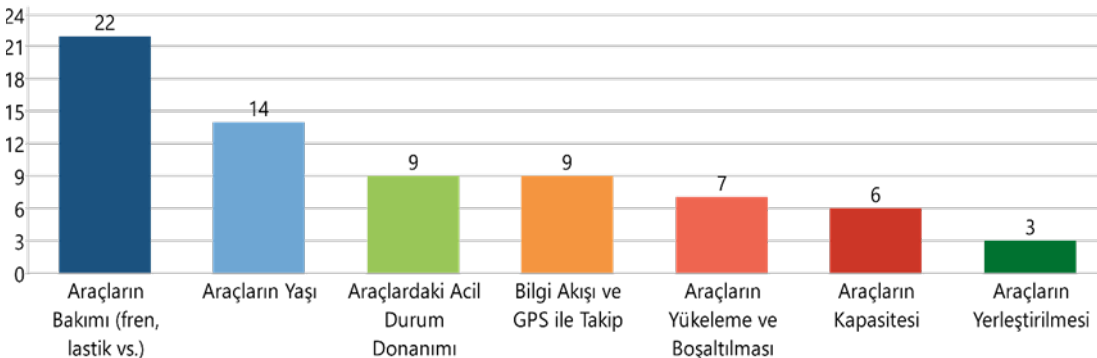
Malzeme ve Dolum Faktörüne İlişkin Frekans Grafiği



Şekil 5’te görüldüğü üzere katılımcılar tarafından CNG lojistiğinde malzeme ve dolum işleminden kaynaklanan risk faktörlerine yönelik üretilen görüşler neticesinde 6 kod şekillenmiş ve bunlar “malzeme ve dolum faktörü” temasını oluşturmuştur. Katılımcılar tarafından en fazla “ekipmanların teknik donanımı ve kalibrasyonu” kodunda görüş üretilmiştir (f=20).

Şekil 6

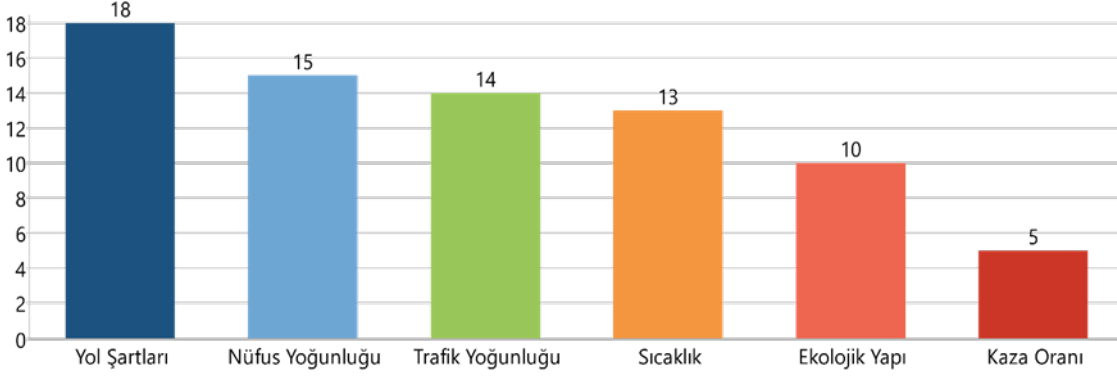
Araçların Durumu Faktörüne İlişkin Frekans Grafiği



Şekil 6’da görüldüğü üzere katılımcılar tarafından CNG lojistiğinde araçların durumundan kaynaklanan risk faktörlerine yönelik üretilen görüşler neticesinde 7 kod ortaya çıkmış ve bunlar “araçların durumu faktörü” temasını oluşturmuştur. Katılımcılarca en çok “araçların bakımı (fren, lastik vs.)” kodunda görüş bildirilmiştir (f=22).

Şekil 7

Çevre ve Trafik Faktörüne İlişkin Frekans Grafiği



Şekil 7’de görüldüğü üzere katılımcılar tarafından CNG lojistiğinde çevre ve trafikten kaynaklanan risk faktörlerine yönelik üretilen görüşler neticesinde 6 kod şekillenmiş ve bunlar “çevre ve trafik faktörü” temasını oluşturmuştur. Katılımcılarca en çok “yol şartları” kodunda görüş bildirilmiştir (f=18).

3.3.2. Nihai bulgular (AHP uygulaması)

Araştırmanın ikinci aşaması, nitel çalışma (ilk aşama) sonucunda elde edilen kriterlerin ve alt kriterlerin CNG lojistiği risk yönetimi sürecinde görece önem derecesinin hesaplanmasından oluşmaktadır. Değerlendirme kriterlerinin risk yönetimi sürecindeki görece önem derecesinin hesaplanması amacıyla kriterlerin ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmasına imkan veren AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) tekniği ile hazırlanmış anket formu uzmanlar tarafından (12 kişi) ayrı ayrı tamamlanmıştır. Bu aşamadaki katılımcılar ile araştırmanın ilk aşamasındaki (mülakat görüşmesi yapılan) katılımcılar aynı kişilerden oluşmaktadır. Uzmanların kriter ve alt kriterlerin ikili olarak kıyaslanmasına yönelik görüşleri alınmış ardından analiz safhasına geçilmiştir. Uzmanların cevapladıkları anket formları ile ilk olarak karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur.

Tablo 4’te ana kriterlere ait karşılaştırma matrisi gösterilmektedir. Tablo 5, 6, 7, 8 ve 9’da ise alt kriterlere ait karşılaştırma matrisleri sunulmuştur. Tablolardaki değerler on iki uzmandan alınan görüşlerin geometrik ortalaması hesaplanarak elde edilmiştir. Tablolarda, kriterlerin ve alt kriterlerin kısaltmalarına yer verilmiş olup, bu kısaltmaların açıklamaları ise ait oldukları matrisin altında verilmektedir.

Tablo 4

Ana Kriterlerin İkili Karşılaştırması

| | İ | F | MVD | AD | ÇVT |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|
| İ | 1 | 1,226884 | 1,483904 | 1,981675 | 2,625467 |
| F | 0,814801 | 1 | 1,604616 | 0,815086 | 1,899404 |
| MVD | 0,673786 | 0,623202 | 1 | 0,912287 | 1,808458 |
| AD | 0,504497 | 1,226353 | 1,095690 | 1 | 2,430638 |
| ÇVT | 0,380821 | 0,526481 | 0,552957 | 0,537811 | 1 |

Not: İ: İnsan, F: Firma, MVD: Malzeme ve dolum, AD: Araçların durumu, ÇVT: Çevre ve trafik.

Tablo 5*İnsan Faktörü Kriterinin İkili Karşılaştırması*

| | E | PDVPD | T | KR | İVKB | Y | FD |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| E | 1 | 3,313266 | 1,502438 | 1,022532 | 1,234974 | 5,042162 | 1,649379 |
| PDVPD | 0,301857 | 1 | 0,453751 | 0,251802 | 0,591661 | 3,791308 | 1,565085 |
| T | 0,665685 | 2,203612 | 1 | 0,39218 | 1,068708 | 4,052096 | 2,614596 |
| KR | 0,978111 | 3,972269 | 2,406898 | 1 | 1,146982 | 4,622828 | 4,082469 |
| İVKB | 0,809619 | 1,59539 | 0,935639 | 0,882763 | 1 | 3,276516 | 2,60055 |
| Y | 0,198352 | 0,263803 | 0,246798 | 0,216348 | 0,305195 | 1 | 0,890891 |
| FD | 0,606324 | 0,638948 | 0,382487 | 0,244964 | 0,384489 | 1,122453 | 1 |

Not: E: Eğitim, PDVPD: Personelin duygusal ve psikolojik durumu, T: Tecrübe, KR: Kurallara riayet, İVKB: İletişim ve koordinasyon becerisi, Y: Yaş, FD: Fiziksel durum.

Tablo 6*Firma Faktörü Kriterlerinin İkili Karşılaştırması*

| | TMGD | MR | DVRS | ADP | GVKDS | TK | RKKS |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TMGD | 1 | 0,428071 | 0,855848 | 0,452687 | 0,797974 | 0,718935 | 0,955504 |
| MR | 2,336391 | 1 | 3,566365 | 0,942279 | 1,696182 | 1,276769 | 2,177312 |
| DVRS | 1,208677 | 0,28044 | 1 | 0,648714 | 0,697817 | 0,743636 | 1,291817 |
| ADP | 2,208975 | 1,061407 | 1,54146 | 1 | 1,401828 | 1,9934 | 2,495257 |
| GVKDS | 1,253163 | 0,589604 | 1,433017 | 0,961494 | 1 | 1,276695 | 1,253153 |
| TK | 1,391039 | 0,783331 | 1,344733 | 0,394292 | 0,739249 | 1 | 1,025324 |
| RKKS | 1,046629 | 0,459385 | 0,774078 | 0,40072 | 0,797974 | 0,975301 | 1 |

Not: TMGD: Tehlikeli madde güvenlik danışmanı, MR: Mevzuata riayet, DVRS: Dokümantasyon ve raporlama sistemi, ADP: Acil durum planı, GVKDS: Güvenlik ve kalite değerlendirme sistemi, TK: Teknoloji kullanımı, RKKS: Ramak kala kayıt sistemi.

Tablo 7*Malzeme ve Dolum Faktörü Kriterlerinin İkili Karşılaştırması*

| | TMM | MTÖ | KVD | ÖVSME | İVE | ETDVK |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TMM | 1 | 0,190664 | 0,611994 | 0,212461 | 0,233977 | 0,159612 |
| MTÖ | 3,637036 | 1 | 2,19611 | 0,982675 | 1,349402 | 1,504832 |
| KVD | 1,634235 | 0,455332 | 1 | 0,311135 | 0,54556 | 0,2438 |
| ÖVSME | 4,707808 | 1,017783 | 3,213989 | 1 | 2,334815 | 0,75976 |
| İVE | 4,274523 | 0,741044 | 1,833145 | 0,428289 | 1 | 0,752687 |
| ETDVK | 6,267749 | 0,664449 | 4,10176 | 1,316063 | 1,328562 | 1 |

Not: TMM: Tehlikeli maddenin miktarı, MTÖ: Maddenin tehlike önceliği, KVD: Konteyner ve dolum, ÖVSME: Önleyici ve sonrasında müdahale ekipmanı, İVE: İşaretleme ve etiketleme, ETDVK: Ekipmanların teknik donanımı ve kalibrasyonu.

Tablo 8*Araçların Durumu Faktörü Kriterinin İkili Karşılaştırması*

| | BAVGPSİT | AB | AY | AK | AYER | AADD | AYVB |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| BAVGPSİT | 1 | 0,17476 | 0,30477 | 0,50659 | 0,33693 | 0,30400 | 0,41141 |
| AB | 5,72301 | 1 | 4,53171 | 5,70959 | 3,72779 | 3,29421 | 3,5352 |
| AY | 3,28079 | 0,22072 | 1 | 0,81819 | 0,53707 | 0,29680 | 0,2655 |
| AK | 1,97376 | 0,17519 | 1,22221 | 1 | 0,56174 | 0,28097 | 0,5811 |
| AYER | 2,96763 | 0,26832 | 1,86209 | 1,78011 | 1 | 0,51057 | 0,6099 |
| AADD | 3,28984 | 0,30359 | 3,36969 | 2,46783 | 1,95872 | 1 | 2,7682 |
| AYVB | 2,43064 | 0,28296 | 3,76699 | 1,72096 | 1,6398 | 0,36123 | 1 |

Not: BAVGPSİT: Bilgi akışı ve GPS ile takip, AB: Araçların bakımı, AY: Araçların yaşı, AK: Araçların kapasitesi, AYER: Aracın yerleştirilmesi, AADD: Araçlardaki acil durum donanımı, AYVB: Aracın yükleme ve boşaltılması.

Tablo 9*Çevre ve Trafik Faktörü Kriterinin İkili Karşılaştırması*

| | NY | S | YŞ | KO | EY | TY |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NY | 1 | 1,975258 | 0,315895 | 0,423103 | 1,308518 | 0,388978 |
| S | 0,506331 | 1 | 0,184608 | 0,191433 | 0,65438 | 0,19549 |
| YŞ | 3,165553 | 5,418201 | 1 | 2,407791 | 3,294459 | 1,386865 |
| KO | 2,363432 | 5,224273 | 0,415308 | 1 | 2,59002 | 0,838034 |
| EY | 0,764261 | 1,52801 | 0,303613 | 0,386085 | 1 | 0,411636 |
| TY | 2,570965 | 5,116 | 0,720973 | 1,19325 | 2,429716 | 1 |

Not: NY: Nüfus yoğunluğu, S: Sıcaklık, YŞ: Yol şartları, KO: Kaza oranı, EY: Ekolojik yapı, TY: Trafik yoğunluğu.

Tablo 10

Kriter ve Alt Kriter Ağırlıkları

| Kriter | Tutarlılık Oranı | Ağırlık | Alt Kriter | Tutarlılık Oranı | Alt Kriter Ağırlığı | Genel Ağırlık |
|--------------------------|------------------|---------|------------|------------------|---------------------|---------------|
| İnsan Faktörü | 29,36% | | E | 2,90% | 21,38% | 6,28% |
| | | | PDVPD | | 9,27% | 2,72% |
| | | | T | | 15,75% | 4,62% |
| | | | KR | | 25,75% | 7,56% |
| | | | İVKB | | 16,48% | 4,84% |
| | | | Y | | 4,46% | 1,31% |
| | | | FD | | 6,91% | 2,03% |
| Firma Faktörü | 21,77% | | DVRS | 1,58% | 10,35% | 2,25% |
| | | | ADP | | 21,26% | 4,63% |
| | | | GVKDS | | 14,40% | 3,14% |
| | | | TK | | 12,04% | 2,62% |
| | | | RKKS | | 9,85% | 2,14% |
| | | | TMM | | 4,35% | 0,76% |
| | | | MTÖ | | 22,58% | 3,92% |
| Malzeme ve Dolu Faktörü | 17,37% | | KVD | 1,21% | 7,90% | 1,37% |
| | | | ÖVSME | | 24,46% | 4,25% |
| | | | İVE | | 15,67% | 2,72% |
| | | | ETDVK | | 25,04% | 4,35% |
| | | | BAVGPSİT | | 4,36% | 0,91% |
| | | | AB | | 38,45% | 8,05% |
| | | | AY | | 7,19% | 1,50% |
| Araçların Durumu Faktörü | 20,93% | | AK | 3,87% | 6,90% | 1,44% |
| | | | AYER | | 10,72% | 2,24% |
| | | | AADD | | 19,12% | 4,00% |
| | | | AYVB | | 13,26% | 2,76% |
| | | | NY | | 9,75% | 1,03% |
| | | | S | | 4,99% | 0,53% |
| | | | YŞ | | 32,72% | 3,46% |
| Çevre ve Trafik Faktörü | 10,57% | | KO | 2,67% | 20,56% | 2,17% |
| | | | EY | | 8,46% | 0,89% |
| | | | TY | | 23,52% | 2,49% |
| | | | | | | |

Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri normalize edilmiş olup her bir kriterin, alt kriterin görelî ağırlığı tespit edilmiş ve Tablo 10' da verilmiştir. Ayrıca ikili karşılaştırmalara ilişkin tutarlılık oranları da Tablo 10' da gösterilmiştir. Buna göre insan kaynakları faktörü %2,90, firma faktörü %1,58, malzeme ve dolum faktörü %1,21, araçların durumu faktörü %3,87, çevre ve trafik faktörü ise %2,67 tutarlılık oranları ile kabul edilebilir bir tutarlılık düzeyindedir.

Ana kriterler genel olarak değerlendirildiğinde, CNG lojistiğinde en önemli risk faktörünün insan faktörü olduğu görölmektedir (%29,36). İnsan faktörünü sırasıyla firma faktörü ve araçların durumu faktörü takip etmektedir (sırasıyla %21,77 ve %20,93). Araçların durumu faktörünün firma faktörüne nazaran daha düşük bir puan almasına karşın bu iki kriterin puanlarının arasındaki farkın oldukça az olduğu görölmektedir. Diğer risk faktörlerinin önem dereceleri ise sırasıyla malzeme ve dolum (%17,37) ve çevre ve trafik faktörüdür (%10,30). Görüldüğü üzere çevre ve trafik faktörü en düşük öneme sahip risk faktörü olarak belirlenmiştir.

Alt kriterlere bakıldığında, toplam 33 alt kriter arasında en önemli risk faktörünün “araçların bakımı” faktörü olduğu tespit edilmiştir (%8,05). İkinci en önemli risk faktörü ise “kurallara riayet” kriteridir (%7,56). “Eğitim”, en önemli üçüncü risk faktörü olarak tespit edilmiştir (%6,28). Eğitimin ardından “mevzuata riayet” en önemli dördüncü risk faktörü olarak belirlenmiştir (%4,94). Bu doğrultuda, araçların durumu, insan ve firma faktörüne ilişkin alt kriterlerin en önemli risk faktörleri olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda insan, araçların durumu ve firma faktörlerinin CNG lojistiği risk yönetimi sürecinde en önemli risk faktörleri olduğu ortaya konmuştur.

4. Tartışma

Literatürde tehlikeli madde ile ilgili çalışma konuları genel olarak; risk değerlendirmesi (risk azaltma, risk analizi vb.), yönlendirme ve programlama, acil durum müdahale, ağ tasarımı, kaza analizi başlıkları altında toplanmıştır (Yılmaz vd., 2015; Yacob & Hassim, 2017). Literatürdeki tehlikeli madde lojistiği ile ilgili risk faktörleri üzerine olan çalışmalar incelenmiştir ve çalışmaların büyük bir çoğunluğun tehlikeli madde taşımacılığı üzerine olduğu görölmüştür. Taşımacılık her ne kadar lojistik faaliyetlerin büyük bir bölümünü kapsasa da tamamı değildir. Ayrıca ilgili alan yazın incelendiğinde yapılan çalışmalarda CNG, taşıtlar için alternatif yakıt olarak değerlendirilmiş ve konular taşıtlara yakıt olarak kullanılan gazın (Oto CNG) dolumu, maliyeti, performansı vb. başlıklarında daha çok mühendislik açısından değerlendirmeler ile sınırlı kalmıştır. Endüstriyel, ısınma ve pişirme alanlarında tüketilen sıkıştırılmış doğal gazın lojistik operasyonlarına yönelik literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır ve bu durum çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada CNG lojistiği faaliyetleri gerçekleştirilirken riske yol açacak ana faktörler 5 temel başlıkta ortaya çıkmıştır. Bunlar; insan, firma, malzeme ve dolum, araçların durumu, çevre ve trafik faktörleridir. İlgili literatür incelendiğinde ise birçok risk faktörünün sıralandığı fakat genel olarak tehlikeli madde lojistiğinde risk faktörlerinin 5 ana başlık altında toplandığı görölmektedir. Literatürde çalışılan beş ana başlık; insan, işletme/şirket/firma, malzeme ve paketleme, araçların/taşıtların durumu, çevre ve trafik faktörleridir. Bu faktörler ilgili birçok alt faktöre ayrılmaktadır (Shang vd., 2008; Dumlupınar & Öztürkoğlu, 2019; Bali & Göztepe, 2014; Fabiano vd., 2002; Liu vd., 2005; Chen vd., 2007; Ren & Wu, 2007; Liu vd., 2006; Xing vd., 2020). Bu doğrultuda çalışmada belirlenen risk faktörleri literatür ile benzerlik göstermektedir. Araştırmanın sonucunda elde edilen verilerin analiz sonuçları, sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde en önemli risk faktörünün 0,29 oranıyla insan faktörü olduğunu ortaya koymuştur. Literatür incelendiğinde Shang ve arkadaşları (2008), 0,78 oranıyla, Zhao ve arkadaşları (2012), 0,66 oranıyla, Ambituuni ve arkadaşları (2015) 0,79 oranıyla, Bali ve Göztepe (2014) 0,48 oranıyla yaptıkları tehlikeli madde risk değerlendirme çalışmalarında “insan” kriterini en önemli risk faktörü olarak tespit ettikleri görölmüştür. Dolayısıyla söz konusu çalışmalar araştırmada elde edilen bu bulguyu destekler niteliktedir.

Araştırma sonucunda sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde diğer kriterlere nazaran daha az önemli görülen iki risk faktörü bulunmuştur. Bunlar önem sırasına göre malzeme ve dolum faktörü ile çevre ve trafik faktörüdür. Bu iki faktör diğerlerine göre (insan, firma, araçların durumu) daha az önemli görölmüştür fakat bunların göz ardı edilmesi (büyük kayıplar potansiyeli sebebiyle) tehlikeli madde lojistiğinde başarılı bir risk yönetiminin yapılmasını engelleyebilmektedir. Shang ve arkadaşları (2008), 0,34 oranıyla ve Bali ve Göztepe (2014), 0,06 oranıyla yaptıkları çalışmalarda bu çalışmadakine benzer

olarak çevre faktörünü tehlikeli madde taşımacılığı esnasında en az öneme sahip kriter olarak tespit etmişlerdir. Bunun aksine Ayyıldız ve Gümüş'ün (2021), yaptıkları risk değerlendirme çalışmasında görelî önemi en yüksek ana kriter 0,26 oranıyla çevre faktörü olarak belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Tehlikeli madde konusu günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından merak edilip üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Tehlikeli madde talebine paralel olarak risklerin etki alanının artması toplumda endişelere neden olmaktadır. Bu nedenle, tehlikeli madde lojistiğinde tehlike veya risklerin ortaya çıkmasına katkıda bulunacak risk faktörlerinin tespit edilmesi pratik öneme sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde etkin bir lojistik risk değerlendirmesi yapılabilmesi için risk faktörlerinin ve bu faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada ilk olarak 12 kişilik uzman grubu ile mülakat görüşmeleri yapılmış ve bu aşamada elde edilen verilerin analizinde MAXQDA 2020 programı kullanılmıştır. Böylece çalışmanın ilk aşaması tamamlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasındaki verilerin analizi ile sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde 5 ana ve 33 alt risk faktörü tespit edilmiştir. Bu beş ana faktör; insan, firma, malzeme ve dolum, araçların durumu, çevre ve trafik faktörleridir. Araştırmanın ilk aşamasında elde edilen ana ve alt risk faktörlerinden ikinci aşamada hiyerarşik yapının oluşturulmasında yararlanılmış ve AHP tekniği ile toplanan veriler analiz edilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında elde edilen verilerin analiz sonuçları, sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde en önemli risk faktörünün "insan" faktörü olduğunu ortaya koymuştur. İnsan faktörünün ardından en yüksek derecelendirmeye sahip ikinci risk faktörünün "firma" faktörü üçüncü risk faktörünün ise "araçların durumu" faktörü olduğu belirlenmiştir. Firmaya bağlı risk faktörleri ile araçların durumu faktörünün sıkıştırılmış doğal gaz lojistiği sürecindeki önem derecelerinin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

İnsan, firma ve araçların durumu faktörlerinin sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde en önemli risk faktörleri olarak ortaya çıkması beklenen bir sonuçtur. Nitekim CNG lojistiğinde görev alacak personelin yaşının, fiziksel ve psikolojik durumunun, almış olduğu eğitimin tehlikeli madde lojistiğinde görev yapabilmeye elverişli olması tehlikelerin ortaya çıkmaması için oldukça önemlidir. Diğer yandan, personelin sektör geçmişi, belirlenen kurallara uyması, iletişim ve koordinasyon becerisine sahip olması riskin engellenmesi veya sonrasında riske doğru bir şekilde müdahale edilebilmesi noktasında kritik bir önem taşımaktadır.

Firma faktörü de CNG lojistiğinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kritik öneme sahiptir. Firmanın tehlikeli madde güvenlik danışmanının rehberliğinden yararlanarak mevzuata dair bilgileri sürekli ve güncel bir şekilde alması tehlikeli madde mevzuatına uygun bir şekilde hareket etmesini ve böylece potansiyel tehlikeleri engellemesini sağlamaktadır. Tehlikeli madde sürecinin güvenli ve kontrollü bir şekilde yürütülmesinde teknoloji kullanımının, sürekli iyileştirme sağlanmasında ise dokümantasyon ve raporlama sisteminin, ramak kala kayıt sisteminin ve acil durum planının oldukça büyük etkileri vardır.

Lojistik faaliyetlerin en önemli adımı olan taşıma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde araçların durumu kritik rol oynamaktadır. Sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde basınçlı tüpleri taşıyan araçların çok eski olmaması ve bakımlarının tam olması seyir halinde meydana gelebilecek kazaların olasılığını azaltabilmektedir. Araçların lojistik uzmanları tarafından GPS ile sürekli olarak takibinin yapılması ve araçta acil durum donanımının varlığı bir kaza durumunda müdahaleyi hızlandırabilmektedir. CNG lojistiğinde çekicilere yüklenecek tüp miktarının kapasiteyi aşması risklerin ortaya çıkmasına yol açabilecek bir faktördür. Sıkıştırılmış doğal gazın şirket veya müşteri sahasında kurallara uygun bir şekilde yerleştirilme, yükleme ve boşaltma işlemlerinin uygun personeller tarafından doğru bir şekilde yapılması riskin azaltılması veya engellenmesi için başka önemli kriterlerdir. İnsan, firma ve araçların durumu faktörleri birbirleri ile ilişkili faktörlerdir. Riskin engellenmesi veya azaltılmasında doğru

araçların seçilmesi ve acil durum donanımı her ne kadar araçların durumu faktörü içinde yer alsa da araç seçimini yapan firma acil durum ekipmanını kullanan ise insandır. Başka bir deyişle personelin acil durum ekipmanını doğru bir şekilde kullanabilmesi için yeterli eğitimi almış olması ve kurallara riayet etmesi firmanın doğru araç seçimini yapması için ise mevzuata riayet etmesi gerekmektedir. İnsan, firma ve araçların durumu risk faktörlerinin birbirleri ile sıkı ilişki içinde olduklarını gösterecek daha birçok örnek vermek mümkündür.

Araştırma sonucunda sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde önemli etkiye sahip iki risk faktörü daha bulunmuştur. Bunlar önem sırasına göre malzeme ve dolum faktörü ile evre ve trafik faktörüdür. Bu iki faktör diğerlerine göre daha az önemli görülmüştür fakat bunların göz ardı edilmesi (büyük kayıplar potansiyeli sebebiyle) tehlikeli madde lojistiğinde başarılı bir risk yönetiminin yapılmasını engelleyebilmektedir.

Bu alışma sıkıştırılmış doğal gazın karayolu kullanılarak gerçekleştirilen lojistik faaliyetlerinde risk faktörlerini belirleyip bu risk faktörlerinin önem derecelerini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu çalışmadan elde edilen çıktılarla karar verici ve uygulayıcılar sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde risk faktörlerinin neler olduğu hakkında bilgi sahibi olacaklardır. Bununla birlikte ortaya konulan risk faktörlerini daha kolay bir şekilde değerlendireceklerdir. Önem derecesi yüksek olarak çıkan risk faktörlerinin üzerine daha fazla eğilerek yatırım - geliştirme çabaları ile riskin ortaya çıkmasını engelleyebilecekler, etkisini azaltabilecekler ya da müdahaleyi hızlandırabileceklerdir. Örneğin bu çalışmanın sonucunda sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde 'insan faktörü' en önemli risk faktörü olarak ortaya çıkmıştır. Buradan hareketle sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde etkin bir risk yönetimi için sektörde görev alan personellere periyodik olarak eğitim verilerek mevzuata ve kurallara uymaları arttırılabilecektir. Ek olarak personellerin duygusal ve psikolojik durumları takip edilebilecek, sorun tespit edilen noktalarda personellere profesyonel destek sağlanarak işe olan dikkat ve özenleri arttırılabilecektir.

Kriterlerin belirlenmesi sayesinde okuyucunun; tehlikeli madde lojistiği ile birlikte CNG lojistiği esnasında ortaya çıkabilecek tehlikeli olayların sonuç dağılımlarını değerlendirmek için nicel bir risk değerlendirme yapabilmesi, çalışmanın başka bir amacını oluşturmaktadır. Diğer yandan okuyucunun risk yönetimi için nicel risk değerlendirmesinin riski önlemede ve riske müdahale etmedeki etkisinin ne olduğu, nicel risk değerlendirmesinin önemli yönlerini ve bu tür yöntemlerin pratik açıdan bir soruna nasıl uygulanabileceğini anlaması amaçlanmaktadır. Böylece risk seviyesinin yüksek olduğu belirlenen faaliyetler için yapılmama kararı alınması, sürecin iyileştirilmesi, potansiyel tehlikelerin önüne geçilmesi, olası kazalarda meydana gelebilecek zararların azaltılmasına yönelik ek tedbirlerin alınması, meydana gelen kazalardan sonra müdahalenin iyileştirilmesi, tehlikenin boyutu ve kapsamı hakkında CNG lojistiği yapan firmalar ile birlikte tüm paydaşların bilinçlendirilmesi araştırmanın temel amacını ortaya koymaktadır. Özetle çalışmadan elde edilen çıktıların riski bölgelerine ayırma ve etkili risk yönetimi stratejileri geliştirmeye yardımcı olacağı düşünölmektedir.

Bu araştırmanın bazı sınırlılıkları vardır. Bu çalışmada belirlenen risk faktörleri ve önem dereceleri sıkıştırılmış doğal gaz tehlikeli maddesi özelindedir. Araştırma için gerekli bilgilerin toplanması amacı ile yapılan görüşmelerin bazıları yüz yüze yapılırken bazılarının (katılımcıların iş yoğunluğu sebebiyle) uzaktan yapılması veri toplanma sürecinin uzamasına sebep olmuştur. Ayrıca bazı katılımcılara AHP anketinin puanlama (uygulama) mantığının uzaktan (evrimii) anlatılmasında güçlük çekilmiştir. AHP anketinin puanlama mantığının katılımcıya yüz yüze daha kolay anlatılabileceği düşünölmektedir. Ayrıca çalışmada katılımcı çeşitliliği sadece Türkiye taşımalı doğal gaz sektöründe öncü olan bir CNG lojistiği firmasının sıkıştırılmış doğal gaz lojistiği tesislerinde lojistik faaliyetlerinden sorumlu olarak farklı birimlerde görev alan 12 uzmanın görüşleri ile sınırlı olduğundan sonuçların sıkıştırılmış doğal gaz lojistiğinde görev alan tüm personellerin risk değerlendirme görüşlerini kapsamaması araştırmanın

bir diğer kısıtını oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra yerli ve yabancı yazında dökme CNG ile ilgili yeterli çalışmanın bulunmaması bu araştırmanın sınırlılıklarını oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın tehlikeli madde lojistiği sektör temsilcileri ve karar vericilerine en temel önerisi insan faktörünün gelişmesine yapılacak olan yatırımların artırılması ve bu sayede insandan kaynaklanan risklerin ortaya çıkmasının önüne geçilmesi veya bu risklerin en aza indirilmesidir. Ek olarak çalışmada ortaya çıkarılan diğer risk faktörlerine yönelik olarak da önleme ve zarar azaltma çalışmalarının yapılması sektörün karar vericilerine önerilmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan yöntem tasarımı basitliği ve uygulama kolaylığı ile diğer tehlikeli maddelerin risk değerlendirmesi çalışmalarında uygulanabileceği gibi aynı zamanda işletme biliminde performans yönetimi, kalite yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi vb. çalışmalarda da kullanılabilir. Gelecek çalışmalarda bu çalışmada kullanılan yöntem tasarımı ile farklı maddelerin risk değerlendirilmesi yapılarak literatüre katkı sağlanabilir. Bununla birlikte yeni gelişmeler çalışmaya dâhil edilerek akademik çalışmalar güncelleştirilebilir ve daha fazla katılımcı ile analiz çerçevesi genişletilebilir. Ayrıca CNG lojistiğinde görev alan şoförlerin örneklem alındığı farklı bir çalışma yürütülerek lojistiğin büyük bir alanını kaplayan taşıma faaliyetleri için iyileştirme ve geliştirme odaklı çalışmalar yapılabilir.

Kaynakça

- Ambituuni, A., Amezaga, J. M., & Werner, D. (2015). Risk assessment of petroleum product transportation by road: A framework for regulatory improvement. *Safety Science*, 79, 324-335. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.022>
- Attari, M. Y. N., Ejlaly, B., Delouyi, F. L., & Poorasl, M. H. (2024). Integration hybrid multi criteria decision making of GIS, AHP and TOPSIS in evaluating suitable locations for cng fuel stations: A case of bonab city, Iran. In *Landslide: Susceptibility, risk assessment and sustainability: Application of geostatistical and geospatial modeling* (pp. 645-668), Springer Nature Switzerland.
- Ayyıldız, E., & Gümüş, T. A. (2021). Pythagorean fuzzy AHP based risk assessment methodology for hazardous material transportation: An application in Istanbul. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (27), 35798-35810.
- Bali, Ö., & Göztepe, K. (2014). Tehlikeli madde taşımacılığında risk değeriendirilmesi için bir indeks geliştirilmesi. *III. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi* (ss. 672-679). Harman Yayıncılık.
- Bhutta, K. S., & Huq, F. (2002). Supplier selection problem: A comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(3), 126-135.
- BOTAő (2022). İlköğretim öğrencileri için. <https://www.botas.gov.tr/Sayfa/ilkogretim-ogrencileri-icin/198>.
- BRC (2018). CNG nedir? <https://www.brcturkiye.com/haber/cng-nedir>
- Chen, Z. S., Li, M., Kong, W. T., & Chin, K. S. (2019). Evaluation and selection of hazmat transportation alternatives: A PHFLTS-and TOPSIS-integrated multi-perspective approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 4116. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214116>
- Chen, Z., Chen, Z. G., & Tian, H. (2007). Assessment on road transportation system for dangerous goods. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 33, 51-53.
- CNG.CO.TT (t.y.) *Introducing CNG*. <https://cng.co.tt/what-is-cng/>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6. Baskı). Routledge: Taylor & Francis Group.
- Çetiner, İ. (2019). *Endüstriyel dökme CNG dolum tesisi operasyonlarının maliyet esaslı optimize edilmesi* [Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi].
- Danışman, E. (2019). *Tehlikeli madde lojistiğinde risk faktörlerinin değeriendirilerek depo yerinin seçimi* [Doktora Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi].
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2005). Introduction: The discipline and practice of qualitative research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE handbook of qualitative research*. (3rd ed., pp. 1-32). SAGE Publications.
- Diler, A., Tektanlı, M., Soruşbay, C., & Ergeneman, M. (2008, 22-25 Ekim). Doğal gaz yakıtlı otobüslerin sera gazı emisyonlarına etkisi. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay, Türkiye.
- Dumlupınar, M. T., & Öztürkoğlu, Y. (2019). Tehlikeli madde taşımacılığında ADR'ye göre risklerin analiz edilmesi. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(1), 1-13.
- EPDK (2020). *Sektör raporu 2020*. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-10402/2020-yili-sektor-raporlari-yayinlanmistir>

- Erdal, H. (2018). Tehlikeli madde taşımacılığı güzergâh seçimi problemi için stokastik bir risk analizi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(6), 935-943.
- Fabiano B., Currò F., Palazzi, E., & Pastorino R. (2002). A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation. *Journal of Hazardous Materials*, 93, 1-15.
- GAZBİR (2021). 2021 Doğal gaz dağıtım sektör raporu. <https://www.gazbir.org.tr/rapor/Aralik-2021-Sektor>
- Irgalı, C. (2019). CNG araçlarının Türkiye’de uygulama alanları. <http://berument.bilkent.edu.tr/No031.pdf>
- Kagiri, C., Zhang, L., & Xia, X. (2017). Compressor and priority panel optimization for an energy efficient CNG fuelling station. 11th Asian Control Conference (ASCC), içinde (ss. 2200-2203), <https://doi.org/10.1109/ASCC.2017.8287516>
- Kahyaloğlu, M. (2016). Türkiye’de çevre eğitimi üzerine yapılan araştırmalar: Bir içerik analizi çalışması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (34), 50-60.
- Khan, M. I., Yasmin, T., & Shakoor, A. (2015). International experience with compressed natural gas (CNG) as environmental friendly fuel. *Energy Systems*, 6(4), 507-531.
- Korkmaz, E., İşler, M. C., & Akman, A. (2014). Karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığında güvenlik önlemleri: Manifoldlu tüp demetleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(2), 86-95.
- Liu, H. X., Zhou, X., & Yang, J. R. (2006). Fuzzy synthetic evaluation model of transportation routes of dangerous goods. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 6, 80-82.
- Liu, J. J., Xu, X. H., & Xu, K. (2005). Discussion and analysis of dangerous cargo’s road transport. *Journal of Safety Science and Technology*, 1, 74-77.
- LNGCNG (2021). LNG/CNG nedir? <http://www.lngcng.org.tr/dogal-gaz-piyasa-faaliyetleri>
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded Sourcebook*. Sage.
- Mohanty, S., & Paul, S. (2023). A frame work for comparative wear based failure analysis of CNG and diesel operated engines. *Energy*, 269, 126675.
- Nart, S., Güner, S., & Nart, S. (2017). Otomotiv sektöründeki inovasyon yeteneği kaynaklarının AHP ile değerlendirilmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 377-390. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.323726>
- NATURELGAZ (2021). Dökme CNG ve LNG iş modeli. <http://www.naturelgaz.com/sayfa/7/is-modeli>
- Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik hiyerarşi süreci ve ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22), 306-327. <http://dx.doi.org/10.11611/JMER214>
- Patton, M. (2014). *Qualitative research and evaluation methods* (4. Baskı). Sage.
- Ren, C. X., & Wu, Z. Z. (2007). Progress of risk assessment and optical routing for hazardous materials transportation by road. *Journal of Safety and Environment*, 7, 127-131.
- Saaty, T. L. (1994). Highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 74(3), 426-447.
- Shang, H., Dong, D. Wang, X., & Wu, X. (2008). The risk evaluation for hazardous materials transportation. *Service Operations and Logistics, and Informatics*, 1553-1558.

- Sun, M., Wu, Z. Z., & Zhang, H. Y. (2003). Cause analysis of accidents in transporting dangerous chemicals on highway and their preventive measures. *China Safety Science Journal*, 13(8), 22-24.
- Sun, P., Zhu, H., Yang, S., Dong, W., Yu, X., & Fu, Z. (2024). Combustion and emission characteristics of CNG/gasoline DFSI engine with CNG direct injection. *Fuel*, 359, 130537.
- Şengür, K. F. (2018). Lojistikte tehlikeli maddeler. M. Nalçakan, F. Er. (Eds.), *Lojistik İlkeleri* içinde (ss. 177-207) içinde. Anadolu Üniversitesi: Açık Öğretim Fakültesi.
- Targhi, S. M., Khadem, J., & Gord, F. M. (2016). Thermodynamic analysis of a CNG refueling station considering the reciprocating compressor. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 29, 453-461. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.01.027>
- Tezören, M. K. (2012). CNG dolum istasyonlarında yangınla mücadele. *Mühendis ve Makine*, 53(625), 65-71.
- TIRINSIGHT (2019). *Taşımacılık türlerine göre doğal gaz tüketimi*. <https://insights.tirport.com/tasimacilik-turlerine-gore-dogal-gaz-tuketimi-1/>
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2018). *European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road (ADR), Tehlikeli malların karayolu ile uluslararası taşımacılığına ilişkin Avrupa anlaşması* (Cilt 1). Birleşmiş Milletler.
- Xing, Y., Chen, S., Zhu, S., Zhang, Y., & Lu, J. (2020). Exploring risk factors contributing to the severity of hazardous material transportation accidents in China. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 17(4), 1344.
- Yalçinkaya, N. M., Demirel, E., & Say, N. (2020). Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sürecinde ortaya çıkan çevresel risklerin Hata Ağacı Analizi (HAA) ile değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4),973-984.
- Yang, Q., Chin, K. S., & Li, Y. L. (2018). A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 52, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.02.001>
- Zhao, L., Wang, X., & Qian, Y. (2012). Analysis of factors that influence hazardous material transportation accidents based on Bayesian networks: A case study in China. *Safety Science*, 50(4), 1049-1055. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.003>

Makale Bilgi Formu

Yazar Notu: Bu çalışma Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Senem NART danışmanlığında Sultan oşkun Kaya tarafından "Tehlikeli Madde Lojistiğinde Risk Faktörlerinin Değerlendirilmesi: Sıkıştırılmış Doğalgaz (CNG) Örneği" başlığı ile tamamlanarak 27/06/2022 tarihinde savunulan Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.

Yazarların Katkıları: Bu makalenin yazımına tüm yazarlar eşit katkıda bulunmuştur. Tüm yazarlar son metni okumuş ve onaylamıştır.

Çıkar Çatışması Bildirimi: Yazar tarafından potansiyel çıkar çatışması bildirilmemiştir.

İntihal Beyanı: Bu makale iThenticate tarafından taranmıştır.

Ek 1.

MÜLAKAT SORULARI

- 1) Sıkıştırılmış doğalgaz lojistiğinde, insandan kaynaklanan risk faktörleri nelerdir?
- 2) Sıkıştırılmış doğalgaz lojistiğinde, firmadan/işletmeden kaynaklanan risk faktörleri nelerdir?
- 3) Sıkıştırılmış doğalgaz lojistiğinde, malzeme ve dolumdan kaynaklanan risk faktörleri nelerdir?
- 4) Sıkıştırılmış doğalgaz lojistiğinde, çevre ve trafikten kaynaklanan risk faktörleri nelerdir?
- 5) Sıkıştırılmış doğalgaz lojistiğinde, araçlardan/araçların durumundan kaynaklanan risk faktörleri nelerdir?

Eğitim:

Yaş:

Şirkette göreviniz nedir? :.....

Kaç yıldır CNG sektöründe çalışıyorsunuz? :.....