



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

---

### **Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Akaryakıt Taşımacılığının Çevresel Etkilerini Değerlendirme**

*Evaluation Of Environmental Effects Of Fuel Transport With Analytical Network Process Method*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Şeyda GÜR<sup>1</sup>, Mehmet MİMAN<sup>2</sup>, Tamer EREN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-4639-9657

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0002-1545-9960

<sup>3</sup> ORCID ID: 0000-0001-5282-3138

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Gür Ş., Miman M., Eren E., “Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Akaryakıt Taşımacılığının Çevresel Etkilerini Değerlendirme”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2): 61-70, (2020).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



## Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Akaryakıt Taşımacılığının Çevresel Etkilerini Değerlendirme

Şeyda GÜR<sup>1</sup>, Mehmet MİMAN<sup>2</sup>, Tamer EREN<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu, ŞANLIURFA

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ŞANLIURFA

<sup>1</sup> Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE

### Öz

Akaryakıtlar tehlikeli maddelerden olup sektörü ülke ekonomisi ile doğru orantılı olarak büyümektedir. Özel yapıları nedeni ile tehlikeli maddelerin taşınması büyük önem arz eden ve dikkat edilmesi gereken bir husustur. Tehlikeli maddelerin taşınması için gerekli kuralları vardır. Çeşitli ulaşım yolları ile sağlanan bu taşımacılık faaliyetlerinde özellikle karayolu taşımacılığı diğer taşıma yollarına göre esneklik gösterir. Bu çalışmada ise karayolları ile taşımacılığı yapılan akaryakıtların çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden analitik ağ süreci yöntemi ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Yanma faktörü, toksisite ve çevre ana kriterleri altında yer alan on altı kriter analitik ağ süreci yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra elde edilen ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılarak çevreye etkisine göre akaryakıt seçenekleri sıralanmıştır.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 22/02/2020

Düzeltilme: 21/04/2020

Kabul: 06/05/2020

### Anahtar Kelimeler

Analitik ağ süreci  
Akaryakıt taşımacılığı  
Çevresel etki  
TOPSIS

## Evaluation Of Environmental Effects Of Fuel Transport With Analytical Network Process Method

### Abstract

Fuels are dangerous substances and their sector is growing in direct proportion to the national economy. Because of its special structures, the transportation of hazardous materials is a matter of great importance and needs to be considered. There are rules for transporting hazardous materials. In these transportation activities provided by various transportation routes, especially road transportation shows flexibility compared to other transportation routes. In this study, the environmental impacts of fuels transported by road transportation were evaluated. Analytical network process method and TOPSIS method, which are multi-criteria decision-making methods, are used. Ten sub-criteria under the main factors of combustion, toxicity, and environment are weighted by the analytical network process method. Then, the fuel weights are listed according to their environmental impact by using the weights obtained in the TOPSIS method.

### Keywords

Analytical network  
process  
Fuel transportation  
Environmental impact  
TOPSIS

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Akaryakıtlar tehlikeli madde sınıfına girmekte ve enerji alanında ülkenin ihtiyacını önemli ölçüde karşılamaktadır. Aynı zamanda akaryakıt sektörü ülke ekonomisi ile birlikte büyümektedir. Tehlikeli maddeler kendi özel yapısı nedeniyle taşınması sırasında çok dikkat edilmesi gerekmektedir [1]. Bu maddeler kimyasal yapılarına, şekillerine ve tehlikelerine göre gruplandırılmaktadır. Tehlikeli madde taşımacılığı için birçok alternatif bulunmaktadır. Bunlar; karayolu, demiryolu, havayolu, denizyolu ve iç su yoludur. Her bir taşıma türü için oluşturulmuş uluslararası yönetmelik mevcuttur. Tehlikeli madde sınıfına giren ve taşımacılığı yapılacak olan tüm bu maddeler tehlikeli madde taşımacılığı kurallarına uygun olarak yüklenmeli ve taşınmalıdır [2]. Karayolu taşımacılığı diğer taşıma türlerine göre esneklik özelliği bulunmaktadır. Karayollarında bu maddelerin taşımacılığı için uluslararası standartlarda imzalanmış olan ADR (Accord Dangereux Routier) sözleşmesi imzalanmıştır. Bu anlaşmanın uygulanması ise ülkenin karayolu denetimi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu anlaşmayla, bu maddelerin diğer taşıma şekilleri

\*İletişim yazarı, e-mail: tamereren@gmail.com

ile uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesi, taşımacılığı sağlayan araçların donanımının uygun olması ve güvenliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Demiryolu taşımacılığında ise RID tehlikeli malların demiryoluyla uluslararası taşınmasına ilişkin yönetmelik, havayolu taşımacılığında ICAO ve IATA DGR olarak adlandırılan tehlikeli malların taşınmasına yönelik yönetmelikler, denizyolu taşımacılığında IMDG Code, iç su yolu taşımacılığında ADN tehlikeli maddelerin iç su yollarıyla uluslararası taşınmasına dair Avrupa anlaşması imzalanmıştır [2].

İnsan ve çevreye olası etkilerinin potansiyeli açısından bakıldığında, tehlikeli maddelerin taşımacılığında dikkat edilmesi gereken faktörler ön plana çıkmaktadır. Tehlikeli madde türlerinin birbirinden farklı etkisi bulunmaktadır. Bu maddeler için taşıma yapacak araçların hangi şartları sağlaması gerektiği açıkça belirtilmesi gerekmektedir. Taşımacılıkta ve enerji üretiminde alternatif yaklaşımların benimsenmesi gerektiğini savunan Hart ve Hormandinger [3] yakıt hücreleri kullanımının oldukça faydalı olduğunu bildirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada bu yakıt hücresi teknolojilerinin getirilmesi, geleneksel teknolojilere kıyasla emisyonları önemli ölçüde azalttığını görmüşlerdir.

Tehlikeli madde taşımacılığında en çok dikkat çekilen nokta bu maddelerin sahip olduğu risk boyutudur. Literatürde araştırmacılar tehlikeli madde taşımacılığındaki risk faktörlerini analiz ederken bu risk boyutunu da minimum seviyeye indirilmesi için önerilerde bulunmuşlardır. Toksik bileşenlere sahip olması nedeniyle tehlikeli maddelerin insanlara ve çevreye olan zararlarına dikkat çeken Verme ve Verter [4]; Verma [5], bu maddelerin demiryolu aracılığıyla taşınmasında karşılaşılan risk boyutunu incelemiştir. Çalışmalarda geliştirmiş olduğu metodoloji ile demiryolunda karşılaşılan tren vagonlarının kirliliği, tren uzunluğu gibi durumların kazalara sebep olması ve çevreye olan zararlı etkileri analiz etmiştir. Denizyolu ile taşımacılığı yapılan tehlikeli maddelerin ise gemilere yüklenmesi sırasında meydana gelebilecek hataların kaza riskinin boyutu çok fazladır ve bu kazaların önemli bir oranına sahiptir [6]. Batarliené [7] çalışmada ise bu maddelerin taşımacılığındaki modern teknoloji olanaklarından bahsetmektedir. Var olan teknolojik gelişmelerin taşımacılıkta karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik etkilerini ve kaza olasılıklarını azaltma oranlarını incelemiştir. Araştırmacının bir başka çalışmada ise [9] bu maddelerin güvenli bir şekilde taşınmasını sağlamak için tüm güzergâh boyunca risk yönetimi kavramı üzerinde durulmuştur. Çalışmada olası hasar riskini ve kaza olasılığını azaltmayı amaçlamıştır.

Risk analizi üzerine bir başka çalışmada da [10] bu sürecin karmaşıklığı üzerinde durulmuştur. Çalışmanın amacı ise tehlikeli malların nakliye sürecini izlemek ve değerlendirmek için karar destek sisteminin kurulmasıdır. Roncoli vd. [11] tehlikeli madde filolarında akış problemi için risk bazlı bir yaklaşım önermişlerdir. Böylece hem ağ üzerindeki riski hem de önerilen teslimat ile gerçekleşen arasındaki farkın minimize edilmesi istenmiştir. Tehlikeli madde taşımacılığında kaynaklanan risk oranını azaltmak için yapılan diğer çalışmalardan olan Conca vd. [12] çalışmada karayolu akış hızı ile kaza sıklığı arasındaki etkileşimin analizini yapmışlardır. Amaç ise tehlikeli madde taşıyan taşıyıcıların taşıma maliyetine ek olarak, her bir yolculuk için risk miktarının hesaplanmasıdır. Karayolu tünellerinin risk değerlendirmesini yapan Benekos ve Diamantidis [13] risk azaltmaya yönelik emniyet önlemlerini artırıcı bir çerçeve önerisinde bulunmuştur. Caliendo ve De Guglielmo [14]; Tatarinov ve Kirsanov [15] karayolu tünellerinden geçen tehlikeli madde taşıtlarına ilişkin bir risk analizi oluşturmuşlardır. Taşımacılığın bir diğer yöntemlerinden biri olan demiryolu taşımacılığında Huang vd. [16] kazaları önlemek için 24 farklı model önermişlerdir. İnsan ve organizasyon odaklı bir risk modeli geliştirmişlerdir. Modelin uygulanması durumunda güvenli olmayan malzeme koşullarının, insan eylemlerinin, iç ve dış faktörlerin birbirleriyle karşılıklı ilişkisi incelenmiştir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında tehlikeli maddelerinin risk boyutu üzerinde durulduğu görülmüştür. Bu maddelerin taşımacılığını önemli kılan da çevreye ve insana karşı oluşturduğu risk faktörüdür. Oluşabilecek felaketleri önlemek ve yaşanabilecek kayıpların önüne geçebilmek adına bu taşımacılık faaliyetlerinin güvenliliğinin sağlanması önemi artmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda da taşımacılık türlerinde değişen bu oranların analiz edilmesi ve risk boyutlarının vurgulanması yapılmaktadır. Bu çalışmada ise Sehatpour vd. [17] çalışması baz alınarak ve aynı zamanda literatürde tehlikeli madde taşımacılığı üzerinde önemli olan faktörler araştırılarak bu maddelerin çevreye olan etkileri analiz edilmiştir. Alternatif akaryakıtlar belirlenerek bu maddelerin taşımacılığı çevresel açıdan analiz edilmiştir. Bu analiz için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden analitik ağ süreci yöntemi ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Çözüm sürecinde kullanılan analitik ağ süreci yöntemi problem üzerinde etkili olan kriterlerin birbirleri ile olan etkileşimlerini değerlendirmeye imkan sağlamaktadır. TOPSIS yöntemi ise

değerlendirilmesi istenilen alternatifleri kriterler bazında analiz edilmesine yardımcı olmaktadır. Elde edilen sonuçlarda çevreye en çok etkisi bulunan akaryakıt belirlenmiş ve bu akaryakıtın taşımacılığına daha çok dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde çalışmanın çözüm sürecinde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin uygulama adımlarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çözüm sürecinde elde edilen bulgular aktarılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. MATERYAL ve METHOD

Günlük hayatta insanların karar verme sürecinde karşılaştığı birçok durum vardır. Bu durumlar üzerinde etkili olan karar verme sürecini yönlendiren birçok faktör bulunmaktadır. Karar verme süreci içerisinde yer alan bu faktörlerin değerlendirilmesi için literatürde çok ölçütlü karar verme yöntemleri ön plana çıkmaktadır [18]. Bu yöntemler arasında bulunan analitik ağ süreci yöntemi faktörlerin aralarındaki ilişkileri ve etkileşimleri dikkate almaktadır. Aynı zamanda bu ilişkilerden doğan geri beslemeler ile ağ yapısı oluşturulmaktadır. Literatürde analitik ağ süreci yöntemi ile yapılan birçok uygulama bulunmaktadır.

### 2.1 Analitik Ağ Süreci Yöntemi

Analitik ağ süreci (AAS) yöntemi, çok ölçütlü karar verme yöntemleri arasında sıklıkla kullanılan, karar verme problemlerinde kriterlerin aralarındaki ilişkilere ve etkileşimlere göre değerlendirme yapan bir yöntemdir [19]. 1999 yılında Saaty tarafından geliştirilen bu yöntem ile kriterler arasındaki seviyelerine göre hiyerarşik bir yapı kurulmasından ziyade aralarındaki ilişkileri dikkate alarak birbirinden bağımsız olmadığı durumlarda çözüm sunulması için düşünülmüştür. AAS yönteminin uygulama adımları temelde dört adettir [20]:

Adım 1: Karar probleminin tanımlanması: Ele alınan problemin tanımlanması aşamasıdır. Bu adımda, problemin yapısı, sınırları, problem üzerinde etkili olan kriterlerin belirlenmesi işlemleri yapılmaktadır [21].

Adım 2: Ağ yapısının oluşturulması: Problem yapısında belirlenen kriterlerin aralarındaki ilişkiler ve etkileşimler tespit edilmektedir. Aynı zamanda bu ilişkiler ve etkileşimler sonucunda elde edilen geri beslemeler de dikkate alınarak ağ yapısı oluşturulmaktadır [21].

Adım 3: İkili karşılaştırma matrislerinin kurulması: Bu aşamada karşılıklı ilişkiler sonucunda kriterlerin birbirlerine olan etkisi ölçülmektedir. Bu noktada karar vericilerin uzmanlıkları ve yargıları yansıtılmaktadır. Bunun için Saaty tarafından geliştirilmiş olan Tablo 1'de gösterilen 1-9 skalası kullanılmaktadır [21].

**Tablo 1.** 1-9 skalası

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önemli
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Adım 4: Süper matris yapılarının oluşturulması: ikili karşılaştırma matrislerinden elde edilen süper matrisler parçalı matris yapısına sahiptir. Süpermatrislerin her parçası sistem içindeki kriterlerin birbirlerinde göre ilişkilerini yansıtmaktadır. AAS yönteminde 3 farklı süper matris yapısı bulunmaktadır. Bunlar; ağırlıklandırılmamış, ağırlıklandırılmış ve limit süpermatristir. Limit süpermatris sonucunda nihai sonuç elde edilmektedir [21].

## 2.2. TOPSIS Yöntemi

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi, Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir. TOPSIS yönteminin uygulama adımları altı adettir [22]:

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması: karar verme sürecinde karar vericiler tarafından satırlarında seçeneklerin sütunlarda kriterlerin yer aldığı karar matrisi oluşturulmaktadır.

Adım 2: Standart karar matrisinin oluşturulması: karar matrisinin normalize edilmesiyle standart karar matrisi oluşturulmaktadır. Karar matrisinin her kritere ait değerlerin karesi alınmakta ve bu değerler toplanarak elde edilen değerlerin karekökü alınmaktadır. Sütunlardaki her bir değerlerin karekök sonucu elde edilen değere bölünmesiyle standart karar matrisi oluşturulmaktadır. Normalizasyon işlemi eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (1)$$

Adım 3: Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması: karar vericiler tarafından belirlenen kriter ağırlıkları ile standart karar matrisindeki her bir değer ile çarpılması sonucunda ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulmaktadır.

Adım 4: İdeal ( $A^*$ ) ve negatif ideal ( $A^-$ ) çözümlerin oluşturulması: Ağırlıklı standart karar matrisinde yer alan değerler arasında maksimum ve minimum değerler belirlenmektedir.

$$A^* = \{(max_i^{v_{ij}} | j \in J), (min_i^{v_{ij}} | j \in J')\} \quad (2)$$

$$A^- = \{(min_i^{v_{ij}} | j \in J), (max_i^{v_{ij}} | j \in J')\} \quad (3)$$

Formülasyonlarda gösterilen J değeri fayda (maksimizasyon), J' değeri kayıp (minimizasyon) değerleri olarak ifade edilmektedir. Bu eşitliklerin hesaplanması sonucu  $A^*$  ve  $A^-$  değerleri elde edilmektedir.

$$A^* = v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^* \quad (4)$$

$$A^- = v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^- \quad (5)$$

Adım 5. Ayrım ölçütlerinin hesaplanması: Bu adımda negatif ideal ( $S_i^-$ ) ve pozitif ideal  $S_i^*$  ayrım noktaları hesaplanmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2} \quad (6)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (7)$$

Bu formülasyondan yararlanılarak ideal çözümden sapmalar hesaplanmaktadır.

Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması: Hesaplanan ideal ve negatif ideal ayrım noktaları kullanılarak ( $C_i^*$ ) yakınlık değerleri hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (8)$$

Bu değer 0-1 aralığında olmaktadır. 0 ise karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını, 1 ise ideal çözüme mutlak yakınlığı ifade etmektedir.

Literatürde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar farklı tematik alanlarda uygulanmıştır. Bu alanlara bakıldığında; Tezcan vd. [23] (2019); Hamurcu ve Eren [24] (2019), Moons vd. [25] (2019) performans değerlendirmesi, Saçak vd. [26] (2019); Karakuş vd. [27] (2019); Uslu vd. [28] (2019) endüstri 4.0 alanında, Sonel vd. [29] (2019); Yeşilyurt vd. [30] (2019) sağlık alanında, Abdel-Baset vd. [31] (2019) tedarikçi seçiminde çok ölçütlü karar verme yöntemlerini kullanmışlardır.

### 3. BULGULAR

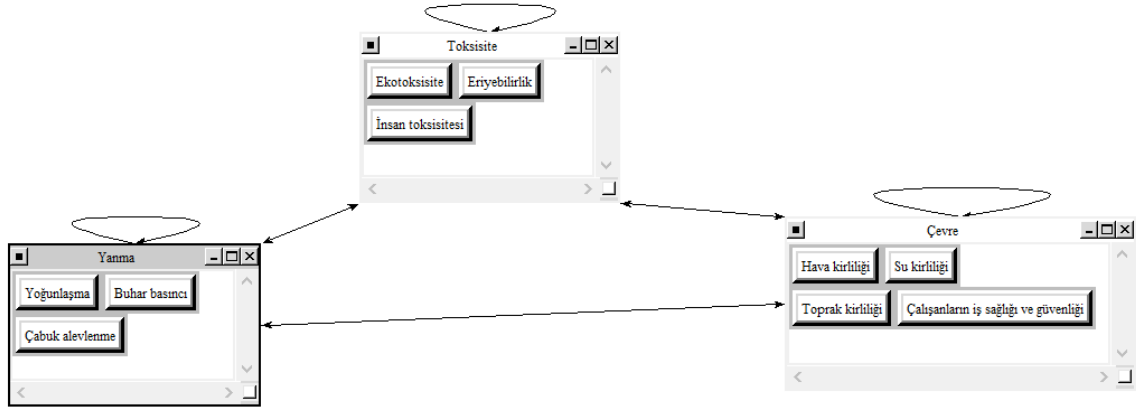
Nüfusun artması beraberinde enerji tüketiminin artmasını da getirmiştir. Ülkede tüketilen enerji hacminin artması, akaryakıtların ulaştırma faaliyetlerinin de artmasına sebep olmuştur. Akaryakıt taşımacılığının çevreye ve insanlara olası zararları tehlikeli madde taşımacılığı olarak tanımlanmaktadır. Tehlikeli madde taşımacılığında birçok farklı alternatif taşıma türü bulunmaktadır. Bu taşıma türlerine göre taşımacılığı yapılan tehlikeli maddelerin çevreye olan etkileri sebebiyle mal taşıyan araçların yapımı, donanımı gibi koşullara dikkat edilmesi gerekmektedir. Çalışmada, ele alınan boru hatlarıyla taşımacılığı gerçekleştirilen akaryakıtların dışsal sebeplerden kaynaklı sorunların oluşması, sızıntıların yaşanması ve çevresel etkilerine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır. Taşımacılığı yapılan petrol, doğalgaz ve fuel-oil yakıtlarının çevreye olan etkileri değerlendirilerek sıralaması yapılmıştır. Taşımacılığı yapılan bu tehlikeli maddelerin özellikleri Junior vd. [32] çalışmasından ve aynı zamanda uzmanların görüşleri alınarak literatürdeki konu ile ilgili çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiştir. Tablo 2’de çalışmada ele alınan kriterler ve alt kriterler gösterilmektedir. Bu kriterlerin tanımlaması yapılmıştır.

**Tablo 2.** Kriterler ve alt kriterlerin yapısı

Ana Kriterler	Alt Kriterler
Yanma Faktörü	Çabuk Alevlenme
	Buhar Basıncı
	Yoğunlaşma
Toksosite	İnsan Toksisitesi
	Eriyebilirlik
	Ekotoksosite
Çevre	Hava Kirliliği
	Su Kirliliği
	Toprak Kirliliği
	İş Güvenliği

Kriterlerin özelliklerine bakıldığında, ana kriterlerden yanma faktörü altında bulunan çabuk alevlenme alt kriteri, sıvı yakıtlar için havanın ve bu yakıtların buharının belli bir oranda karışmış olması halinde yanma olayının kolaylaşması anlamına gelmektedir. Buhar basıncı, sıvı yakıtların buhar halinde duran moleküllerinin belli bir sıcaklıkta yaptığı basınca denilmektedir. Yoğunlaşma, buharlaşma olayının tam tersidir. Yoğunlaşma sonucunda ortaya çıkan sıvının hacmi gazın hacminden daha küçüktür ve açığa çıkan ısı oranı çok fazladır. İnsan toksisitesi, en basit haliyle insan sağlığının zarar görmesi olarak tanımlanabilmektedir. Bir kimyasal maddeye devamlı olarak maruz kalan insanda görülen etkilerdir. Ekotoksosite ise, ekolojik dengenin bu kimyasal maddelerden zarar görmesi anlamına gelmektedir.

Çalışmada çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden analitik ağ süreci yöntemi ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Problem üzerinde etkili olan kriterlerin birbirleri üzerindeki etkileşimi ve ilişkisinden dolayı analitik ağ süreci yöntemi kullanılarak ağ yapısı oluşturulmuştur. Şekil 1’de oluşturulan bu ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 1. Ağ yapısı

Bu ağ yapısına göre kriterlerin birbiri üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bu etkileşim ile kriter ağırlıkları oluşturulmaktadır. Birbirini etkileyen kriterlere hava kirliliği alt kriterinin çalışanların iş sağlığı ve güvenliği alt kriterini etkilemesi örnek olarak verilebilmektedir. Benzer etkileşimlerde diğer alt kriterler arasında kurulmuştur. Bu etkileşimlerden elde edilen geri bildirimlere göre uzmanlar ikili karşılaştırma matrislerini oluşturmaktadır. Oluşturulan bu ikili karşılaştırma matrislerinde Saaty'nin 1-9 skalası kullanılmaktadır. Bu skalaya göre bir kriterin diğer kriter ne derece etkilediği gösterilmektedir. Çalışmada kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması için Super Decision paket programından yararlanılmıştır. Uzman görüşleri ile oluşturulan ikili karşılaştırmalar sonucu kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen kriter ve alt kriter ağırlıkları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Kriterler ve alt kriterlerin önem derecesi

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlığı	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlığı
Yanma Faktörü	0,352145023	Çabuk Alevlenme	0,3958
		Buhar Basıncı	0,13925
		Yoğunlaşma	0,46494
Toksosite	0,201741294	İnsan Toksisitesi	0,34974
		Eriyebilirlik	0,28777
		Ekotoksosite	0,36249
Çevre	0,446112577	Hava Kirliliği	0,23113
		Su Kirliliği	0,02231
		Toprak Kirliliği	0,2003
		İş Güvenliği	0,54626

Elde edilen kriter ve alt kriter ağırlıklarına bakıldığında, ana kriterler arasında çevre kriterinin ağırlığının %45 ile diğer kriterlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kriterlerin ağırlıkları dikkate alınarak TOPSIS yöntemi ile alternatif yakıtlar arasında sıralama yapılmıştır. Bu sıralama ile çevreye olan etkisi en az olan ve en çok olan belirlenmiştir. Çevresel etkilerin diğer faktörler ile etkileşimi akaryakıtların sıralanmasını da etkilemiştir.

TOPSIS yönteminin ilk aşamasında karar matrisi oluşturulmaktadır. Karar matrisi uzmanların görüşleri alınarak oluşturulmuştur ve taşımacılığı yapılan petrol, doğalgaz ve fuel-oil yakıtlarının sıralaması yapılmıştır. Tablo 4'te TOPSIS yönteminin ilk aşamasında ait olan karar matris yapısı gösterilmektedir.

**Tablo 4. Karar matris yapısı**

Alternatifler	Kriterler			
		Yanma Faktörü	Toksisite	Çevre
Fuel-oil		10	9	7
Petrol		7	9	10
Doğalgaz		8	7	8

TOPSIS yönteminin hesaplama adımlarına göre karar matris yapısı oluşturulduktan sonra standart karar matris yapısına geçilmektedir. Standart karar matris yapısında normalize işlemi yapılarak ağırlıklı standart karar matris yapısı adımına geçilmekte ve bir sonraki adımda da ana kriter ağırlıkları kullanılmaktadır. Ana kriter ağırlıkları kullanılarak normalize edilmiş değerler ile bu ağırlıkları çarpılmaktadır. Daha sonra ise elde edilen ağırlıklı standart karar matris yapısındaki değerlerin maksimum ve minimum değerleri alınarak ideal ve negatif ideal çözüm setleri oluşturulmuştur. TOPSIS yönteminin diğer hesaplama adımları da tamamlanarak alternatiflerin ideal çözüme göre göreceli yakınlık değerleri elde edilmiş, sıralaması yapılmıştır. Tablo 5'te elde edilen sıralama gösterilmektedir.

**Tablo 5. Akaryakıtların çevresel etkilerine göre sıralanması**

İdeal çözüme göreceli yakınlık	
Fuel-oil	0,458137357
Petrol	0,569649213
Doğalgaz	0,320165528

Tablo 5'te gösterilen sıralamaya göre doğalgaz akaryakıtının kriterler ve kriter ağırlıkları bazında ilk sırada çıktığı görülmektedir. Daha sonra aldığı değere göre fuel-oil ve petrol yakıtları gelmektedir. Hesaplanan değerlere göre aralarında yakınlık olduğu görülmektedir. Bu değerler dikkate alındığında çevreye etkisinin kritik seviyede olan seçenek petrol seçeneğidir. Bu yakıtın taşımacılığı yapılırken değerlendirme kriterleri bazında dikkat edilmesi gerekmektedir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Patlama, yanıcı özellikte olan maddelerin hava ile buluşmasında ani bir kimyasal reaksiyona girmesi sonucu ısı ve enerjinin yüksek miktarda açığa çıkması olayı olarak tanımlanmaktadır. Bu patlamalara neden olan maddeler arasında tehlikeli madde sınıfına giren akaryakıtlar bulunmaktadır. Tehlikeli maddelerin taşımacılığında dikkat edilmesi gereken en önemli unsur güvenliktir. Bu maddelerin kimyasal reaksiyona girmesi sonucunda patlayıcı ortam oluşmaktadır. Bu patlamaların meydana gelmemesi için tüm önlemler alınmalıdır.

Dünyada küresel ticaretin artmasıyla üretim ve tüketim merkezlerinin lojistik faaliyetlerini genişlettiği görülmektedir. Bu durum lojistik merkezleri arasındaki lokasyonların uzamasına sebep olmuştur. Aynı zamanda yöneticilerinde bu mesafenin kısa zamanda kat edilmesi için stratejiler geliştirmesini gerektirmiştir. Bu lojistik faaliyetlerin çevreye olan etkisini azaltmak ise zorunluluk haline gelmiştir. Çevreye etkisi bakımından en riskli taşımacılık olan akaryakıt taşımacılığı için ise bu faaliyetler için ekstra özen göstermek durumundadırlar. Olası bir tehlikeli durumda yaşanabilecek felaketin boyutu tahmin edilemeyecek boyutlara ulaşabilmektedir. Çevreye olan kirlilik artacak ve canlı varlıkların hayatı risk altına girecektir. Ayrıca oluşan kirlilikten yaşanabilecek olası can kayıplarının yanı sıra bölgedeki insanlar



tarafından yürütülen ticari faaliyetlerde sekteye uğrayacaktır. Bu nedenle akaryakıt taşımacılığı için geliştirilmiş mevzuatlara uyulması ve çevreye etkisi minimum seviyede olacak yakıt türünün tercih edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde ticari amaçlarla tehlikeli madde taşımacılığının deniz, demir, karayolu ve boru hattı ile yapıldığı görülmektedir. Bu taşımacılığın güvenli bir şekilde yapılabilmesi için dikkat edilmesi gereken faktörler ve bazı standartlar bulunmaktadır. Bu bakımdan tehlikeli madde taşımacılığı için yasal standartlarının yerine getirilmesinin yanı sıra çevreye olan etkilerine de dikkat edilmesi gerekmektedir. Tehlikeli madde sınıfında olan akaryakıtlarında çevresel etkilerinin değerlendirilirken birçok faktör ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada da bu faktörlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kriter değerlendirmesi için literatürde sıklıkla kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemleri tercih edilmiştir. Bu yöntemlerden biri olan analitik ağ süreci yönteminin tercih edilmesinin nedeni kriterlerin birbirleri arasındaki bağımlılıkları ve ilişkileri dikkate almasıdır. TOPSIS yöntemi ise bu kriterlerin ağırlıklarını kullanarak sıralama yapılmasına yardımcı olmaktadır.

İlerleyen çalışmalarda ise kriterlerin kapsamı genişletilerek akaryakıtların çevreye olan etkisi farklı ulaşım araçları açısından da değerlendirilebilir ve bu değerlendirme sonuçlarına göre alternatif ulaşım seçenekleri önerilebilir.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Kayhan, R. Tehlikeli Madde Lojistiğinde Taşıma Performansının Ölçümlenmesi. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [2] Valunya, E. Tedarik Zinciri Yönetiminde İş Sürekliliği ve Karayolu Tehlikeli Madde Taşımacılığında Bir Uygulama. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [3] Hart, D., Hörmandinger, G. Environmental benefits of transport and stationary fuel cells. *Journal of Power Sources*, 71:1-2 (1998), 348-353.
- [4] Verma, M., Verter, V. Railroad transportation of dangerous goods: Population exposure to airborne toxins. *Computers & operations research*, 34:5 (2007), 1287-1303.
- [5] Verma, M. Railroad transportation of dangerous goods: A conditional exposure approach to minimize transport risk. *Transportation research part C: emerging technologies*, 19:5 (2011), 790-802.
- [6] Ellis, J. Analysis of accidents and incidents occurring during transport of packaged dangerous goods by sea. *Safety science*, 49:8-9 (2011), 1231-1237.
- [7] Batarlienė, N. Dangerous goods transportation: new technologies and reducing of the accidents. *Journal of KONBiN*, 8:1 (2008), 211-222.
- [9] Batarliene, N. Risk analysis and assessment for transportation of dangerous freight. *Transport*, 23:2 (2008), 98-103.
- [10] Dzemydiene, D., Dzindzalieta, R. Development of architecture of embedded decision support systems for risk evaluation of transportation of dangerous goods. *Technological and Economic Development of Economy*, 16: 4 (2010), 654-671.
- [11] Roncoli, C., Bersani, C., Sacile, R. A risk-based system of systems approach to control the transport flows of dangerous goods by road. *IEEE Systems Journal*, 7:4 (2012), 561-570.
- [12] Conca, A., Ridella, C., Saponi, E. A risk assessment for road transportation of dangerous goods: a routing solution. *Transportation Research Procedia*, 14 (2016), 2890-2899.

- [13] Benekos, I., Diamantidis, D. On risk assessment and risk acceptance of dangerous goods transportation through road tunnels in Greece. *Safety science*, 91 (2017), 1-10.
- [14] Caliendo, C., De Guglielmo, M. L. Quantitative Risk Analysis on the Transport of Dangerous Goods Through a Bi-Directional Road Tunnel. *Risk Analysis*, 37:1 (2017), 116-129.
- [15] Tatarinov, V., Kirsanov, A. Enhancement of monitoring systems for the transport of dangerous goods by road. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 492:1 (2019), 012017.
- [16] Huang, W., Shuai, B., Zuo, B., Xu, Y., Antwi, E. A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: The 24 model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2019.
- [17] Sehatpour, M. H., Kazemi, A., Sehatpour, H. E. Evaluation of alternative fuels for light-duty vehicles in Iran using a multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72 (2017), 295-310.
- [18] Kangal, İ.M. Analitik Ağ Süreci ve Veri Zarflama Analizi ile İşletmelerin Etkinlik Ölçümleri Üzerine Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
- [19] Aksoy, E., Analitik Ağ Süreci ile Tedarikçi Seçimi ve Araç Kiralama Sektöründe Bir Uygulama. *Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
- [20] Özder, E.H. Tedarikçi seçiminde analitik ağ süreci ve hedef programlama tekniklerinin entegrasyonu: Örnek olay çalışması. *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
- [21] Saaty, T. L. *Analytic network process* (pp. 64-72). Springer US, 2013.
- [22] Akçin, E. Evlat Edindirmede Aile Seçim Sürecinin AHP ve TOPSIS Tabanlı Bilgi Sistemi ile Değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
- [23] Tezcan, B., Eren, T., Özcan, E.C., Gür, Ş. Bir tekstil işletmesinde çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile personellerin değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5: 2 (2019), 1-20.
- [24] Saçak, R., Gür Ş., Eren, T. AHP ve DEMATEL yöntemleri ile nesnelerin internetinin işletmelerde yapılan uygulamalarının analizi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8:2 (2019), 82-95.
- [25] Karakuş, K., Yeşilyurt, B., Gür, Ş., Eren, T. Sağlık sektöründe IoT uygulamalarının analitik ağ süreci yöntemi ile değerlendirilmesi. *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4:2 (2019) 86-92.
- [26] Uslu, B., Eren, T., Gür, Ş. Bulut Hizmet sağlayıcı seçiminde etkili olan kriterlerin çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 5: 1 (2019), 16-30.
- [27] Hamurcu, M., Eren, T. Akademik teşvik tabanlı yeni bir performans değerlendirme önerisi ve uygulama. *Üniversite Araştırmaları Dergisi*, 2: 2 (2019), 82-100.
- [28] Sonel, E., Gür, Ş., Eren, T. Çok ölçütlü karar verme ile sağlık turizminde şehir seçimi ve analizi. *Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3:1 (2019), 27-39.
- [29] Yeşilyurt, B., Karakuş, K., Gür, Ş., Eren, T. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile hastane bilgi yönetim sistemleri için paket programı seçimi. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3:1 (2019) 1-21.
- [30] Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., Smarandache, F. An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Computers in Industry*, 106 (2019), 94-110.

[31] Moons, K., Waeyenbergh, G., Pintelon, L., Timmermans, P., De Ridder, D. Performance indicator selection for operating room supply chains: An application of ANP. *Operations Research for Health Care*, 23 (2019), 100229.

[32] Junior, R. C., Cortes, M. A. S., Barbosa, A. C., Lourenço, S. R., de Mello Santana, P. H. Application of AHP for Fuel transportation Environmental impact Assessment in submerged Pipelines. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6: 9 (2019).