



TEHLİKELİ MADDELERİN KARAYOLU İLE TAŞINMASI SÜRECİNDE ORTAYA ÇIKAN ÇEVRESEL RİSKLERİN HATA AĞACI ANALİZİ (HAA) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Nermin Merve YALÇINKAYA^{1*}, Emine DEMİREL², Nuriye SAY¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 01330, Adana

² Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı

Anahtar Kelimeler

Karayolu Taşımacılığı,
Tehlikeli Madde,
ADR,
Risk Analizi,
Hata Ağacı Analizi.

Öz

Tehlikeli madde taşımacılığı; süreç kapsamındaki taşıma, istifleme, depolama, elleçleme vb. faaliyetlerdeki riskler ve meydana gelebilecek sorunlar göz önüne alınarak, yasal çerçevede yürütülmektedir. Karayolları, tehlikeli maddelerin taşınması sırasında kullanılan en temel ulaştırma modudur. Karayolu ulaştırmasının bu kapsamda ağırlıklı olarak tercih edilmesi, meydana gelebilecek sorunların ve mevcut risklerin etki alanının diğer modlara kıyasla daha fazla olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, karayollarında tehlikeli madde taşımacılığında meydana gelmesi muhtemel çevresel riskler araştırılmıştır. Amaç doğrultusunda, öncelikle konu ile ilişkili literatür taraması yapılmış ve yasal çerçeve araştırılmıştır. Ardından, uzman deneyimleri ve ramak kala kayıtlarına dayanarak tehlikeli maddelerin taşınması sırasında meydana gelebilecek 4 farklı senaryo belirlenmiş ve kalitatif risk analizi teknikleri arasında yer alan Hata Ağacı Analizi (HAA) yardımıyla süreç değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, senaryolar kapsamındaki hatalı olaylar/davranışlar doğrultusunda halk sağlığının ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISKS DURING THE PROCESS OF DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION BY ROAD BY FAULT TREE ANALYSIS (FTA)

Keywords

Road Transportation,
Dangerous Goods,
ADR,
Risk Analysis,
Fault Tree Analysis.

Abstract

Transportation of dangerous goods is carried out within a legal framework taking into account the risks and potential problems that may occur within the process (transport, stacking, storage, handling etc.). Highway is used as the fundamental mode of transportation of dangerous goods. Due to road transportation is mainly preferred in this context, it causes problems and potential risks to occur more than other modes. In this study, environmental risks that may occur in the transportation of dangerous goods on highways were investigated. 4 different scenarios that may occur during the transportation of dangerous goods have been determined based on expert experiences and near-miss records. These scenarios have assessed by Fault Tree Analysis (FTA) which is one of the qualitative risk analysis methods. As a conclusion of the study, proposals aiming at public health and environment are given in accordance with the erroneous conditions/behaviors within the scope of the scenarios.

Alıntı / Cite

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.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

N. M. Yalçinkaya, 0000-0002-0860-1498
E. Demirel, 0000-0002-4030-1225
N. Say, 0000-0003-2556-2002

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	14.04.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	02.10.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.10.2020
Yayın Tarihi / Published Date	25.12.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: nbaykan@cu.edu.tr, +90-322-338- 6545

1. Giriş (Introduction)

Ulaştırma sektörü kapsamında taşımacılık, sosyal ve iktisadi sektörlerin sürdürülebilirliğinde oldukça önemli bir faaliyettir. Tarihsel süreçte, kültürel yapı ile birlikte içinde bulunduğu çağın şartlarına göre değişim ve gelişim gösteren bu faaliyet, lojistik yönetiminin de en temel bileşenidir. Günümüzde toplumların gelişmesine ve ekonomik kalkınmasına katkı sağlayan taşımacılık faaliyetlerinin, üretim sektörleri başta olmak üzere her sektörde etkin rol oynadığı ifade edilebilir. Dünya Bankası (2010)'na göre küresel perspektifteki ticaret hacmi, gelişen verimli uluslararası lojistik ağ alt yapısına sahip ülkeler arasında büyüme göstermektedir. Türkiye perspektifinde lojistik yönetimi, ağırlıklı olarak taşıma, gümrükleme ve depolama hizmetlerini kapsamaktadır. Özellikle 2000 yılından bu yana, sektörel faaliyetlerin "lojistik" adı altında yürütülmeye başladığı görülmektedir (Akçetin, 2013). Lojistik Hizmetlerinin Geliştirilmesi Özel İhtisas Komisyon Raporu (2014)'nda, gelişen dünyada artan ticaret hacmi ile orantılı olarak lojistik sektörünün de öneminin arttığı, bu durumun lojistik hizmetlerinin daha etkin ve verimli yapılmasını zorunlu hale getirdiği ifade edilmektedir.

Üretilen bir ürünün tüketim yerine ulaştırılmasını sağlayan taşıma sürecinde, göz önünde bulundurulması ve gerekli önlemlerin alınması gereken öncelikli konulardan birisi taşınan yük tipidir. Günümüzde yük tipleri, üretim teknolojilerindeki modernleşme etkisiyle yapısal özellikleriyle belirli farklılıklar göstermektedir. Bu kapsamda, büyük çoğunluğunu kimyasal maddelerin oluşturduğu "tehlikeli madde" olarak adlandırılan yükler, yasal düzenlemeler ve çevresel güvenlik önlemleri uygulamaları açısından özellikle dikkat edilmesi gereken bir konudur. Tehlikeli yük taşımacılığı, ürünlerin fiziksel özellikleri, taşıma süreçlerindeki özel uygulamaları ve yapısal özelliklerinden kaynaklanan riskler yönünden, diğer taşıma süreçlerinden ayrılmaktadır. Bu durumun temel nedeni, tehlikeli maddelerin yüklenmesi/boşaltılması esnasında ya da farklı nedenlerle meydana gelen kazalar sonucu dökülmelerin insan ve çevre üzerinde ciddi bir risk potansiyeli oluşturması olarak ifade edilebilir. Tehlikeli madde taşımacılığı sürecinde, bu yük tipinin yapısal özelliği gereği güvenlik konusu öncelikli olmakta; multi-modal taşımalarda her taşıma türüne yönelik düzenlenen farklı yaptırımlar bulunmaktadır.

Taşımacılık sürecinde hedef mesafenin uzaklığı ve zamanlama, sektörel rekabet kapsamında oldukça önemli unsurlardır. Zaman içinde farklı modlardaki ulaşım sistemlerinin entegre edildiği lojistik süreçleri planlanmaya başlanmıştır; 1960'lı yıllara kadar yaygın olan "uni-modal sistem" yerini "multi-modal sistem"e bırakmıştır (Akçetin, 2013). Bu nedenle, taşıma türü değişimlerinde oluşabilecek sorun ve riskleri minimize edebilmek ve yaptırımları senkronize uygulayabilmek üzere, bir taşıma sürecinde yer alan tüm modlara yönelik yaptırımların bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, liman işletmeleri ile en fazla bağlantılı olan modun denizyolundan sonra karayolu olduğu düşünüldüğünde, denizyolu taşımacılığı süreçlerinde karayollarında tehlikeli yük taşımacılığının kurallarına yönelik geliştirilen farkındalık ve edinilen bilgi, bu süreçteki tüm paydaşlar için fayda sağlayacaktır.

Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması (ADR), tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sürecinin insan sağlığına ve çevreye zarar verilmenden güvenli ve düzenli bir şekilde yürütülmesini esas almaktadır. Taşıma süreçlerinde uluslararası karayolu güvenliğinin artırılması, tehlikeli malların sınıflandırılması, paketlenmesi, etiketlenmesi ve diğer taşıma türleriyle olan uyumluluğun ortaya konması oldukça önemli kabul edilir. Bunun yanı sıra, tehlikeli atıklar da (kimyasal/biyolojik) ADR kapsamında değerlendirilmektedir.

ADR, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu himayesinde 30 Eylül 1957'de Cenevre'de imzalanmıştır; 29 Ocak 1968'de yürürlüğe girmiştir. Türkiye'nin ADR'ye taraf olma başvuru süreci, 06.12.2005 tarihli ve 26015 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 5434 sayılı "Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşmasına Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair Kanun" ile başlamıştır. 02.07.2010 tarihli ve 27629 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 2010/547 sayılı "Bazı Anlaşmaların Yürürlük Tarihlerinin Tespit Edilmesi Hakkında Karar" doğrultusunda, 22.03.2010 tarihinde ADR taraf ülkesi olmuştur (KUGM, 2019).

Bu kapsamda, yürürlükte olan Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik, 24.04.2019 tarihli ve 30754 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Yönetmelik, "Kamuya açık karayoluyla yapılacak tehlikeli madde taşımacılığı faaliyetlerinin; insan sağlığı ve diğer canlı varlıklar ile çevreye zarar vermeden güvenli, emniyetli ve düzenli bir şekilde yürütülmesine ve bu faaliyetlerde yer alan; gönderenlerin, alıcıların, dolduranların, yükleyenlerin, boşaltanların, paketlenenlerin, tank-konteyner/portatif tank işletmecilerinin, taşımacıların ve tehlikeli maddeleri taşıyan her türlü taşıt sürücülerinin sorumluluk ve yükümlülüklerine ilişkin usul ve esasları belirlemeyi" amaçlar. Yönetmelik, 26/9/2011 tarihli ve 655 sayılı Ulaştırma ve Altyapı Alanına İlişkin Bazı Düzenlemeler Hakkında Kanun Hükmünde Kararnamenin 28 inci maddesine, 10/7/2018 tarihli ve 30474 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 1 sayılı Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinin 480 inci maddesi ile 497 nci maddesi ve 5434 sayılı Kanun ile kabul edilen Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşmasına dayanılarak hazırlanmıştır (Resmi Gazete, 2019).

Tehlikeli yük taşımacılığı süreçleri, konuya özel ve detaylı uygulamalara sahip olup, karar verme süreçlerinden uygulama düzeyine kadar birçok paydaşı doğrudan ilgilendirmektedir. Tehlikeli yük taşımacılığının kapsam genişliği, tehlikeli yük taşıma sürecindeki pratik uygulama esaslarının belirlenmesi ve uluslararası düzeyde bir uygulama standardı elde edilmesi gerekliliğini meydana getirmiştir (Özdikmen, 2016). Bu bağlamda, tehlikeli yük taşıma süreçlerinde uluslararası bütünlük sağlanabilmesine yönelik olarak Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması (ADR), Denizyoluyla Taşınan Tehlikeli Maddelere İlişkin Uluslararası Kod (IMDG-Code), IATA Tehlikeli Madde Düzenlemeleri (DGR) ve Tehlikeli Maddelerin Demiryoluyla Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Düzenlemeler (RID) gibi taşıma türlerinin sahip olduğu spesifik özelliklere uygun şekillerde düzenlemeler, anlaşmalar ve kodlar ilgili taşıma türünün (kara, deniz, hava) uluslararası alanda kabul görmüş kurum ve kuruluşları tarafından geliştirilmiştir (Akçetin, 2013). Uluslararası nitelikteki bu düzenlemelerin, anlaşmaların ve kodların işlevlerini yerine getirebilmeleri için ilgili ülkelerdeki ulusal mevzuat yapıları ile uyumlu hale getirilmeleri gerekliliği bulunmaktadır. Türkiye'ye bakıldığında, bu uyumlaştırma sürecinin denizyolu ile havayolu için tamamlandığı, karayolu için yeni başladığı, demiryolu için ise henüz başlamadığı söylenebilir.

Bu çalışma, tehlikeli madde taşımacılığı süreçlerinde ortaya çıkan çevresel risklerin ve kümülatif etkilerinin karayolu modu özelinde belirlenmesi ve bu doğrultuda sürdürülebilir çözüm önerilerinin geliştirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda, risk analizi yöntemlerinden Hata Ağacı Analizi (HAA) kullanılarak, tehlikeli maddelerin taşınması sürecinde oluşması muhtemel riskleri önlemede etkili uygulamalar dört farklı senaryo ile sunulmuştur.

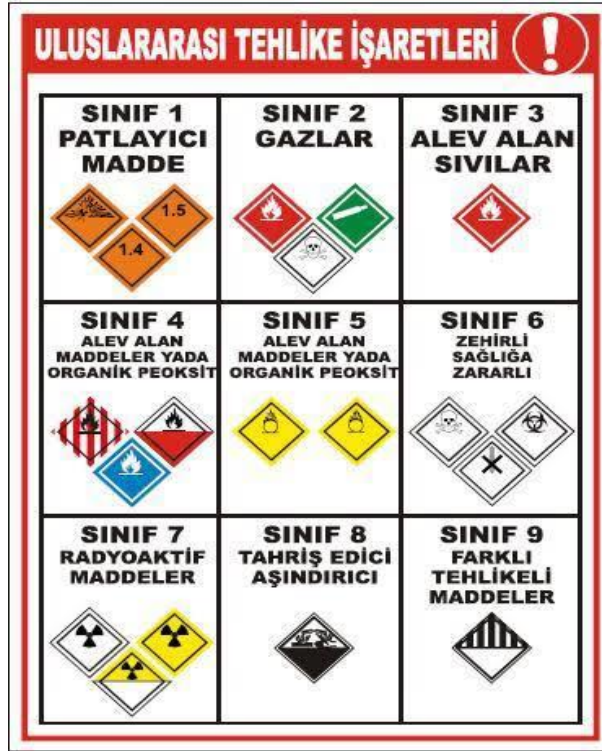
2. Tehlikeli Maddeler (Dangerous Goods)

ADR Konvansiyonu (2019)'na göre; tehlikeli maddeler; nitelikleri ve taşıma işlemi ile bağlantılı olarak; genel güvenliği ve düzeni, toplumu, hayat kaynaklarını, hayvanları ve bitkileri tehlikeye düşürebilecek olan maddelerdir. Tehlikeli maddeler dokuz sınıfa ayrılır (Tablo 1).

Tablo 1. Tehlikeli madde sınıfları (ADR, 2019). (Classification of dangerous goods)

Sınıf 1- Patlayıcı Maddeler/Nesneler
Sınıf 2.1- Yanıcı Gazlar
Sınıf 2.2- Yanıcı/Zehirli Olmayan Gazlar
Sınıf 2.3- Zehirli Gazlar
Sınıf 3- Alevlenir Sıvı Maddeler
Sınıf 4.1- Alevlenir Katı Maddeler
Sınıf 4.2- Kendiliğinden Tepkimeye Girmeye Yatkın Maddeler
Sınıf 4.3- Su ile Temasında Alevlenir Gaz Açığa Çıkaran Maddeler
Sınıf 5.1- Yükseltgen Maddeler
Sınıf 5.2- Organik Peroksitler (2007'de yılında değişmiştir; Alt sarı-üst kırmızı-orta alev).
Sınıf 6.1- Zehirli Maddeler
Sınıf 6.2- Bulaşıcı Maddeler
Sınıf 7- Radyoaktif Malzemeler
Sınıf 8- Aşındırıcı Maddeler
Sınıf 9- Muhtelif Tehlikeli Maddeler/Nesneler

Tehlikeli maddeleri taşıyan araçların ve taşıma konteynerleri ile tankların sahip olması gereken levhalar bulunmaktadır (Şekil 1). İşaretler uluslararası düzeyde olup, taşınan tehlikeli madde hakkında dikkatli olunması gerektiğini bildirmektedir. Ayrıca, tehlikeli maddelerin (özellikle kimyasalların) kutularında belirli işaretlerin bulunması gerekmektedir (Şekil 2). Tehlikeli maddelerin taşınması sırasındaki hatalar, aksaklıklar, maliyet kaygıları vb. durumlar ciddi sorunlara yol açar. Bu nedenle, tehlikeli madde taşımacılığı oldukça dikkatli yürütülmesi gereken ve sorumluluk gerektiren bir süreçtir. ADR Anlaşması'nda, tehlikeli madde taşımacılığında sorumlu paydaşlar ve görevleri net bir şekilde tanımlanmıştır. Bu süreçteki sorumlular; gönderici, paketleyici, yükleyici, doldurucu, taşıyıcı, araçta bulunan görevliler (sürücü ve diğerleri), teslim alan kişiler, tank/konteyner/depo işletmecileri olarak belirtilmiştir (Özer, 2011; ADR, 2019).



Şekil 1. Sınıflarına göre tehlikeli maddelerin işaretleri (TGD Bulletin, 2018). (Dangerous Goods Classes and Signs)



Şekil 2. Tehlikeli maddelerin işaretlenmesinde kullanılan belirli etiketler (TGD Bulletin, 2018). (Dangerous Goods Labels)

2.1. Tehlikeli Maddelerin Taşınma Türleri ve Taşınma Süreçleri (Transportation Types and Process of Dangerous Goods)

Tehlikeli madde taşımacılığı süreçlerinde, modlara yönelik belirli kurallar getirilmiştir. Bu kapsamda yer alan konvansiyonlar aşağıdaki gibidir (ADR, 2019):

- **IMDG (Denizlerde Tehlikeli Yük Taşınmasına İlişkin Düzenleme):** Tehlikeli yüklerin denizlerde taşınması ile ilgili kuralları belirleyen konvansiyonda, tehlikeli yüklerin taşınmasıyla ilgili uluslararası bir standart yer almaktadır. Beş bölümden oluşan konvansiyon; uygulama, tehlikeli maddelerin sınıflandırılması, tehlikeli maddeleri paketleme, tehlikeli maddeleri markalama/etiketleme ve dokümanlar, istif gerekleri ve yolcu gemilerinde bulunabilecek patlayıcı maddeler gibi bölümleri kapsamaktadır.
- **RID (Tehlikeli Yükün Demiryolu İle Uluslararası Taşımacılığın İlişkin Mevzuat):** Konvansiyon; tehlikeli maddelerin demiryolunda yükletilmesine, boşaltılmasına, aktarılmasına ve etiketlenmesine ilişkin kuralları ve ülkemizde ise TCDD hatlarında taşınması sırasında önlemleri kapsamaktadır.

- **ADNR (Nehirlerde Tehlikeli Yük Taşınmasına İlişkin Düzenleme):** Konvansiyon, tehlikeli maddelerin iç suyolları aracılığıyla taşınması sırasında uyulması gereken kuralları içermektedir.
- **IATA-DGR (Uluslar Arası Hava Taşımacılığı Birliği Tehlikeli Yük Mevzuatı):** Uçakla taşınabilecek tehlikeli maddelerin paketleme, taşınması kurallarını belirlemektedir. Uygulanabilirlik, kısıtlamalar, sınıflandırma, tanımlama, paketleme, işaretleme ve etiketleme, dokümantasyon, taşıma ve radyoaktif maddeler bölümlerini içermektedir.

2.2. Tehlikeli Maddelerin Taşınmasında Risk Analizi (Risk Analysis of Dangerous Goods Transportation)

Tehlikeli maddeler, doğrudan veya dolaylı olarak ekolojik faktörler, sosyal doku ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etki oluşturma potansiyeline sahiptir. Akçetin (2013)'e göre, bu maddelerin taşıdığı riskin temel nedeni, ekosistemi değiştirme kapasitelerinden kaynaklanır. Kasıtlı olarak (atma/dökme vb.) veya kaza yoluyla (sızıntı, egzoz ya da kaza sonucu dökülme vb.) bu maddeler çevresel faktörler ile temasa geçebilir. Tehlikeli maddelerin risk yönetimi Tablo 2'de verildiği gibi yönetilebilir.

Tablo 2. Tehlikeli maddelerin risk yönetimi (WHSQ, 2012; Akçetin, 2013). (Management of risks associated with dangerous goods)

Özellikleri doğrultusunda kategorize edilmesi ve tepkimeye girebilecek maddelerin ayrımı
Olası bir sorun ile ilgili bilgilendirme, eğitim ve tatbikat çalışmalarının yapılması
Yangın çıkmasını tetikleyici unsurların kontrolü
Korunması gereken hassas niteliğe sahip yerlerden uzak tutulması
Olası sızıntıların bertaraf edilmesi
Kişisel koruma ve güvenlik amaçlı ekipmanların temini ve muhafazası
Tehlikeli madde muhafaza alanlarına uyarıcı levhaların yerleştirilmesi
Tehlikeli maddelere yönelik oluşturulan güvenlik yönetim sisteminin belgelerinin kullanımı
Acil durum planlarının hazırlanması
Kullanım dışı depo/uygulama noktalarının temiz ve güvenli tutulması

Risk faktörü, mevcut bir durumun yol açacağı sorun veya potansiyel bir unsur ile doğrudan ilişkilidir. Benner (1978), risk faktörünü, hasar ve belirsizlik durumu olarak tanımlamaktadır. Risk analizi ise, farklı sistemler kapsamında çevre, sağlık vb. konularda öngörülen sorunlara yönelik risklerin ve bu risklerin şiddetine bağlı önlem düzeylerinin belirlendiği analitik karar verme süreçleridir. Bu analitik süreçlerde, konuya bağlı olarak nicel veya nitel kapsamda farklı tekniklerden yararlanılmaktadır (Ceylan ve Başhelvacı, 2011; Arslan vd., 2018; Kuzu vd., 2019; Kraidi vd., 2020; Shi vd., 2020).


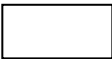



3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Risk değerlendirme süreçlerinde yararlanılan analitik araçlar; Birincil Risk Analizi, Ön Tehlike Analizi, Güvenlik Fonksiyon Analizi, Süreç/Sistem Kontrol Listeleri, Risk Haritası, Olursa Ne Olur? Analizi, Kinney Modeli, Ağırlıklandırılmış Ortalamalardan Sapma Tekniği, Hata Ağacı Analizi vb. olmak üzere oldukça çeşitlidir.

Çalışma kapsamında hata ağacı analizi (HAA) tekniği kullanılmıştır. Teknik kapsamında, tanımlanmış istenmeyen olay (kaza vb.) veya durumun nedenlerinin mantıksal kombinasyonu grafik olarak ifade edilmektedir. Sistemde tehlike olarak görülen tüm unsurların tanımlanmasında ve analizinde yürütülen süreci temsil eder. 1960'lı yıllardan bu yana kullanılan bu tekniğin en etkin güvenlik analizi yöntemi olduğu ifade edilebilir. Fonksiyonel hatanın ciddi sonuçlara yol açabileceği karmaşık teknik sistemlerde oldukça önemlidir (Lee vd., 1985; Ringdahl, 2001; Özkılıç, 2005; Kim vd., 2020). Sistematik karar verme süreçleri tüm dengelim mantığına dayanır ve 3 temel aşamada yürütülür; sistemin analizi, hata ağacının oluşturulması ve hata ağacının değerlendirilmesi.

HAA kapsamında risk derecesi araştırılan ana istenmeyen olay üst olay, daha ileri bir ayrıştırma olmaksızın üst olayı tetikleyen olay ise esas olay olarak gösterilir. Analizde yer alan 'veya'/'ve' kapıları çeşitli olaylar arasındaki ilişkiyi temsil eden mantıksal işaretlerdir. "ve" kapısı, sembol altında gösterilen tüm olayların, "veya" kapısı ise sembol altındaki olayların herhangi birinin gerçekleşmesi ile bir üst olayın gerçekleşeceğini ifade eder. Bunun yanı sıra kesme seti; hepsinin oluşması durumunda üst olayın meydana gelmesine neden olan herhangi bir hata ağacı grubu, en düşük kesme seti; hepsinin oluşması durumunda üst olayın meydana gelmesine neden olan asgari hata ağacı grubu, yol seti; gerçekleşmemesi durumunda üst olayın kesinlikle meydana gelmeyeceğinin görüldüğü hata ağacını başlatan bir gruptur (Menteş ve Helvacıoğlu, 2010; Şenel ve Şenel, 2013; Erdoğan, 2015). HAA kapsamında kullanılan temel semboller Tablo 3'te, bu tekniğin olumlu ve olumsuz yönleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

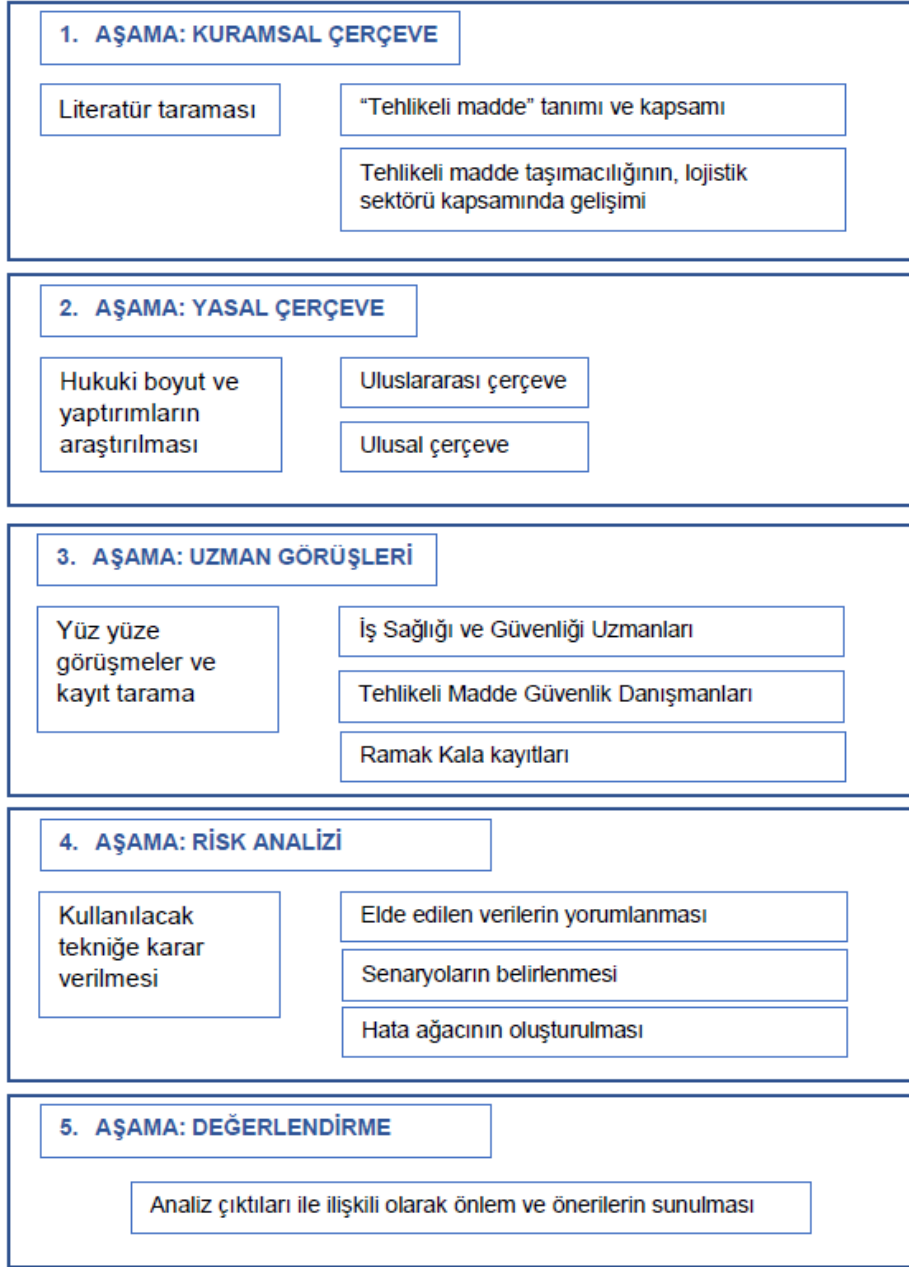
Tablo 3. Hata Ağacı Analizinde kullanılan temel semboller. (Basic symbols used in Fault Tree Analysis)

Sembol	İşaret edilen	İşlev
	Temel olay	Temel olay/hata.
	Olay	Daha temel olaylardan oluşan olay
	VE kapısı	C çıktı olayı, A ve B (tüm girdi) olayları aynı anda meydana geliyorsa görülür
	VEYA kapısı	C çıktı olayı, herhangi bir girdi olayı meydana geliyorsa görülür.
	Transfer sembolü	Ağacın başka bir yerde daha ileri noktaya geliştiğini gösterir.

Tablo 4. Hata Ağacı Analizinin olumlu ve olumsuz yanları (Lee vd., 1985; Deacon vd., 2010). (Pros and cons of Fault Tree Analysis)

Olumlu yanları	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Karmaşık sistemlerde risklerin tespitinde etkilidir. ➤ Çalışma prensibi gereği eş zamanlı olarak tek hata üzerine odaklanmak mümkündür. ➤ Hatalardan kaynaklı olumsuz sonuçlara yönelik genel bakış açısı sunar. ➤ Anlaşılması kolay bir teknik olup, sonuçların tespiti belirli bir deneyim sonrası mümkündür. ➤ Olasılık hesabı yapmada etkili bir tekniktir.
Olumsuz yanları	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Detaylı yapısı nedeniyle zaman alıcıdır. ➤ Gelişmiş sonuçlar üretmesi nedeniyle yüksek doğruluk imajı oluşturabilir, ancak çoğu teknikte olduğu gibi muhtemel hata payları bulunmaktadır. ➤ Mekanik olarak uygulanması mümkün olmayıp, bütün hataların tespitini garantilemez. Farklı uzmanlar tarafından oluşturulan çeşitli ağaç formları olsa da, hatanın kapsamı sabittir. ➤ Gerçekleşmesi için ayrıntılı doküman materyali mevcut olmalıdır.

Çalışmada izlenen süreç Şekil 3'te verilmiştir.

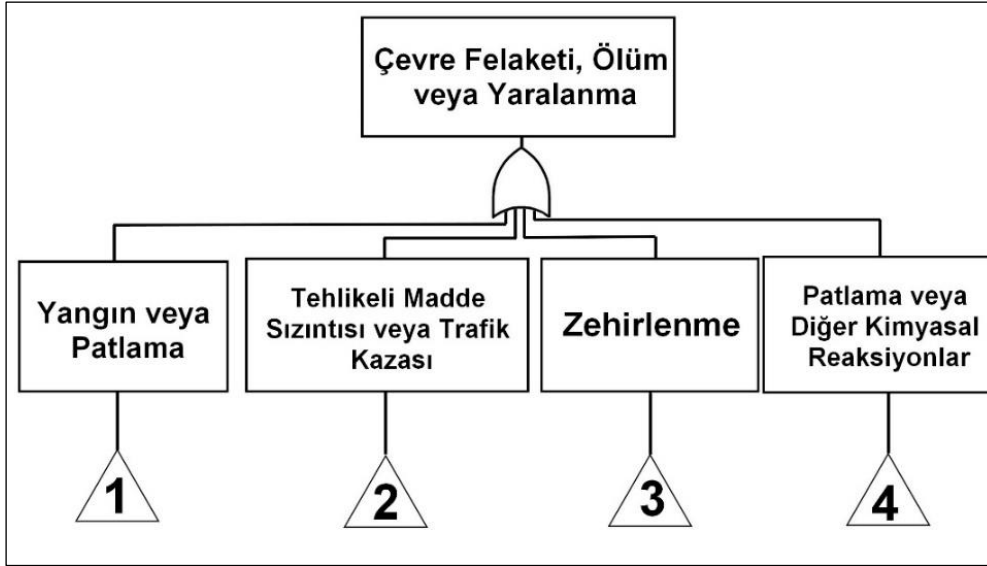


Şekil 3. Çalışmanın akış şeması. (flowchart of the study)

4. Bulgular ve Tartışma (Findings and Discussions)

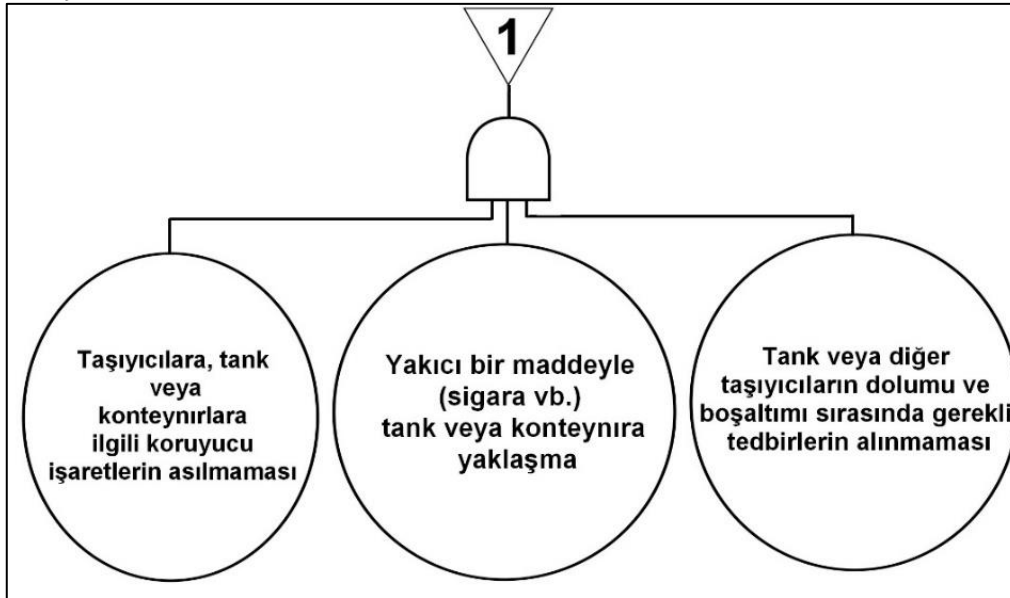
Bu çalışmada, risk değerlendirme süreçlerinde yararlanılan analitik araçlar arasından seçilen Hata Ağacı Analizi kapsamında, tehlikeli maddelerin karayollarında taşınması sürecindeki potansiyel risklerin ve ortaya çıkabilecek sorunların değerlendirilmesine yönelik bir metodoloji izlenmiştir. HAA kapsamında bir temel ağaç ve bu temel ağaç ile ilişkili 4 adet senaryo oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu senaryoların oluşturulmasında İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uzmanları ve Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanları (TMGD) deneyimleri ve ramak kala kayıtları göz önüne alınmıştır.

Ramak kala ifadesi, bir işyeri, şantiye vb. alanlarda hasara uğratma potansiyeli olan kazaya yakın durumlar yaşanan, ancak personel, çalışma alanı veya araç-gereçleri üzerinde herhangi bir ciddi kayıp/ hasarın meydana gelmediği bir olayı tanımlar. Ramak kala olaylar ile ilgili tutulan kayıtlar, İSG uzmanlığı ve TMGD çalışmaları kapsamında konu ile ilgili tedbirlerin alınmasında yol gösterici olmaktadır. Ancak, İSG farkındalığının son yıllarda gelişim gösterdiği ülkemizde, bu kayıtların tutulmasında henüz belirli bir sistematik süreç izlenmemektedir. Bu durum ile ilgili yürütülen altyapı çalışmalarına dayanarak, yakın zamanda ülkesel ölçekte olumlu gelişmeler gözleneceği düşünülmektedir.



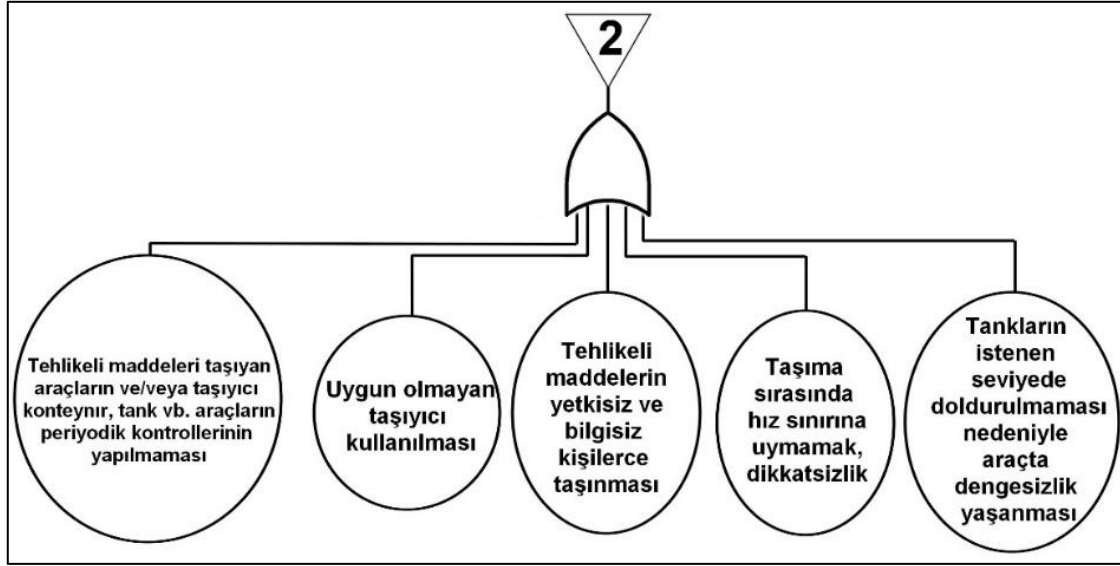
Şekil 4. HAA kapsamında oluşturulan temel ağaç (The fault tree diagram example)

Şekil 4'te, 4 adet alt ağaçtaki temel olaylar sonucunda ortaya çıkması muhtemel üst olayı gösteren temel ağaç verilmiştir. Bu kapsamda, 4 temel olayın veya kapısıyla üst olaya bağlandığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, temel olaylardan herhangi birinin gerçekleşmesi üst olayın meydana gelmesine (çevre felaketi, ölüm veya yaralanmaya) neden olacaktır. Bu 4 temel olayı oluşturan koşullar aşağıda detaylı olarak verilmiştir (Şekil 5; Şekil 6; Şekil 7; Şekil 8).



Şekil 5. 1 numaralı temel olayı gösteren alt ağaç. (Lower-level event 1 of FTA)

Şekil 5'te yangın veya patlamaya yol açabilecek bir olay görülmektedir. Ve kapısıyla bağlı bu olayda, yangın veya patlama olaylarının meydana gelmesi ancak 3 alt olayın birlikte gerçekleşmesi ile mümkündür. Örneğin, yakıcı bir maddeyle tank veya konteynere yaklaşma olayı gerçekleşmediği durumda yangın veya patlama yaşanma riskinin azalması söz konusudur.



Şekil 6. 2 numaralı temel olayı gösteren alt ağaç (Lower-level event 2 of FTA)

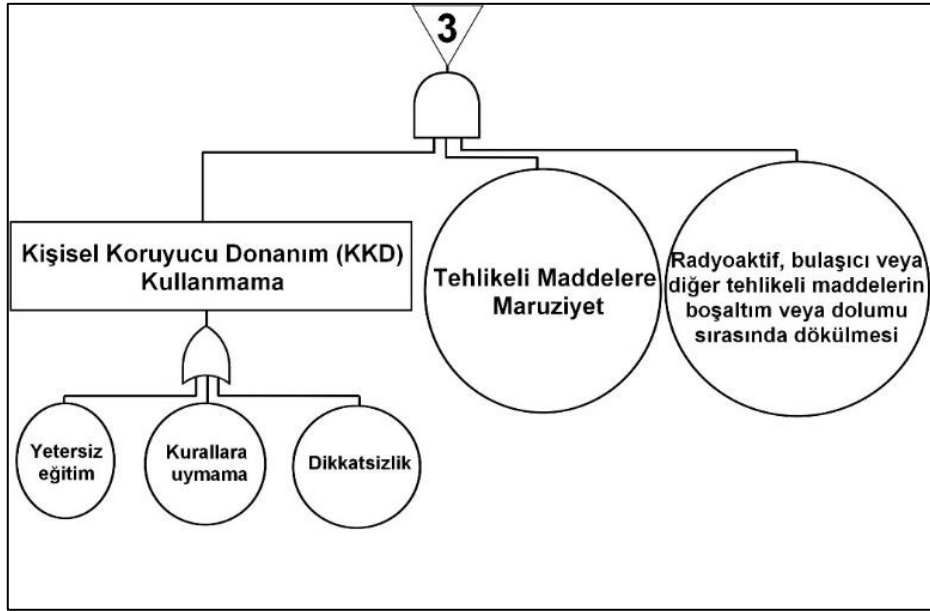
Şekil 6'da görüldüğü gibi, tehlikeli madde sızıntısına veya trafik kazasına neden olabilecek 5 alt olay veya bağlacıyla bağlanmıştır. Bu alt olayların herhangi birinin bağımsız olarak meydana gelmesi temel olayın (tehlikeli madde sızıntısı veya trafik kazası) oluşmasına yol açabilecektir. Bu kapsamda belirli konulara dikkat edilmesi gerekmektedir:

- Tehlikeli madde taşıyan araçlar ve taşıyıcı kaplar belirli özelliklere sahip olmalı ve periyodik olarak kontrol edilmelidir.
- Uygun olmayan taşıyıcılarla tehlikeli maddelerin taşınması (radyoaktif parçacık salınımına yol açan bir malzemenin kurşun olmayan veya çevresel yayılımı önlemede yetersiz kaplarda taşınması) sızıntılara ve kazalara neden olabilecektir. Örneğin, endüstride kullanımı en fazla görülen asit olan sülfürik asitin uygun olmayan tanklarda taşınmasının ardından tankların aşınmasıyla salınımının gerçekleşmesi büyük ölçekte bir çevre faciasına yol açabilir. Sülfürik asit, çevresel felaketlerin en büyüklerinden biri olan asit maden drenajına sebebiyet verebilmektedir.
- Tehlikeli madde taşımacılığı süreçlerinde, konu ile ilgili yeterli bilgi ve deneyimi olmayan kişilerin görev alması, tehlikeli maddelerin sızıntısına veya trafik kazalarına yol açabilmektedir. 08.01.2018 tarihli ve 30295 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Karayolu Taşıma Yönetmeliği hükümleri çerçevesinde, Yönetmelik'te belirtilen faaliyetlerde bulunanlara, öngörülen mesleki yeterlilik eğitimini alan ve/veya yapılacak olan sınavlarda başarılı olanlara veya ilgili mevzuatta belirlenmiş kriterleri sağlayanlara doğrudan mesleki yeterlilik belgesi verilmektedir. Tehlikeli madde taşımacılığı yapacak sürücülerin Birleşmiş Milletler ülkelerinde geçerli olan SRC 5 ehliyeti başta olmak üzere bazı mesleki yeterliliklere sahip olması gerekmektedir. Yasal çerçevede belirtilen faaliyetlerle ilgili bir mesleki yeterliliğin kazandırılması amacıyla, ilgili mevzuat çerçevesinde verilen eğitim oldukça kapsamlı olup, hangi tünellerden hangi tehlikeli maddelerin geçişi için uygun olduğu, hız sınırı vb. konuları içermektedir.
- ADR hükümleri çerçevesinde, tehlikeli madde taşıyan tankların %20 ile %80 arası oranda doldurulması yasaktır. Belirtilen oranda doldurulma, hız sınırına uyulsa dahi seyir sırasında aracın dengesinin bozulmasına neden olarak kazaya sebebiyet verebilmektedir. Bunun yanı sıra, tankların doluluk oranının %90'ın üzerine çıkması da yasaklanmıştır (Şekil 7).
-



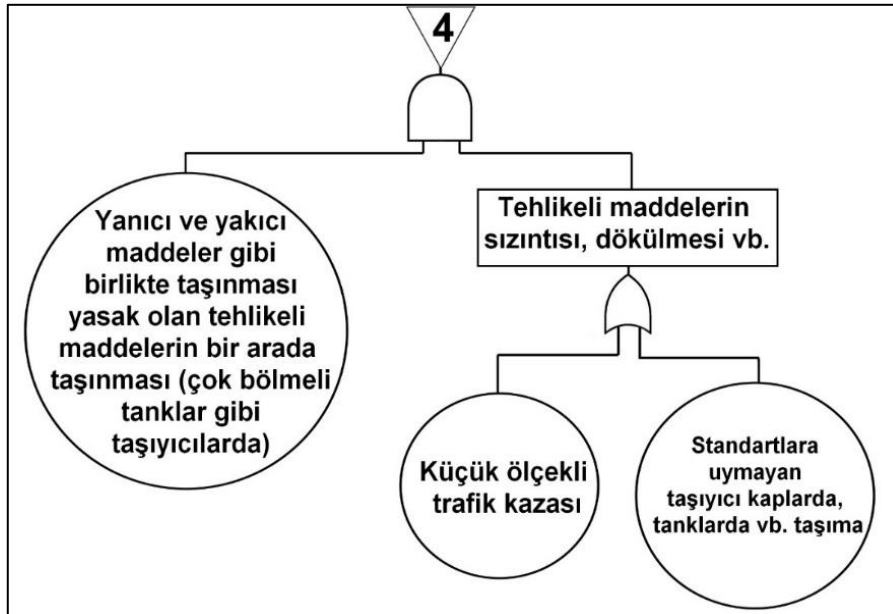
Şekil 7. Tankların uygun doldurulma limitleri (Proper filling limits of tanks)

Zehirlenmeyle sonuçlanabilecek alt olayları gösteren alt ağaç Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. 3 numaralı temel olayı gösteren alt ağaç (Lower-level event 3 of FTA)

Şekil 8’de yer alan senaryoda, Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanmama temel olayı ile sonuçlanan olaylar ayrı bir alt ağaçta gruplandırılmıştır. Veya kapısı ile bağlı alt olayların (yetersiz eğitim, kurallara uymama, dikkatsizlik) herhangi birinin gerçekleşmesi KKD kullanmama ile sonuçlanacaktır. Ardından, KKD kullanmama temel olayı; radyoaktif, bulaşıcı veya diğer tehlikeli maddelerin dolun/boşaltımları sırasında dökülmesi ve bu maddelere maruziyet alt olayları ile aynı anda gerçekleştiğinde (ve kapısı ile bağlı olmaları nedeniyle) 3. Temel olay olan zehirlenme gerçekleşecektir. Bu senaryodaki olumsuz durumların önlenmesi en başta KKDler ile ilgili eğitim verilmesi ve kurallara harfiyen uyulması ile gerçekleşebilecektir. Şekil 9’da patlayıcı maddelerin hızla genişmesi ile oluşan patlamaya ve çevreye zararlı diğer reaksiyonlara sebebiyet veren temel olaylara yol açan alt olaylar görülmektedir.



Şekil 9. 4 numaralı temel olayı gösteren alt ağaç (Lower-level event 4 of FTA)

Birlikte taşınması yasak olan tehlikeli maddelerin taşınması alt olayı ile tehlikeli maddelerin sızıntısı ve dökülmesi olarak belirlenen temel olay ve kapısı ile birbirlerine bağlanmıştır. 2 olayın aynı anda oluşması patlamaya veya çevreye zarar verecek diğer kimyasal reaksiyonlara yol açabilecektir. Tehlikeli maddelerin sızıntısı ve dökülmesi şeklindeki temel olay ise ayrıca 2 alt olayın sonucu olarak görülmektedir. Bu iki alt olaydan biri küçük ölçekli trafik kazası ve diğeri ise standartlara uymayan kaplarda taşımadır. Bu iki alt olayın herhangi birinin gerçekleşmesi (veya kapısı) temel olaya (tehlikeli maddelerin sızıntısı/dökülmesi) sebep olacaktır. Bu olumsuz senaryodan kaçınmanın başlıca yolu, birlikte taşınması yasak olan ve ADR’de belirtilen maddelerin ayrı ayrı taşınmasıdır.

5. Sonuç ve Öneriler (Conclusions and Recommendations)

Bu çalışmada, kalitatif risk analizi teknikleri arasında yer alan Hata Ağacı Analizinden yararlanılarak, karayollarında tehlikeli madde taşınma süreçlerindeki potansiyel riskler ve meydana gelebilecek sorunlar değerlendirilmiştir. Hata ağacında yer alan temel risklerin belirlenmesinde, yüz yüze görüşmeler (İSG uzmanları ve TMGD) ve kayıt tarama (ramak kala kayıtları) süreçleri yürütülmüştür. Ramak kala kayıtlarına gerekli önemin verilmemesi ve bu kayıtların çoğu işletmede bulunmaması nedeniyle, ağırlıklı olarak sektör çalışanların deneyimlerine başvurulmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda ampirik kapsamlı 4 senaryoyu içeren hata ağacı analizi yürütülerek risklerin önlenmesine yönelik tedbirler belirlenmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen önlemler aşağıda verilmektedir:

- Ülkemizde lojistik yönetimi, aktif politikalar doğrultusunda, sektörde yer alan kurum, kuruluş ve işletmelerin sistematik uygulamaları ile daha etkin bir düzeye getirilmelidir.
- Tehlikeli maddelerin karayollarında taşınması sürecinde, öncelikli olarak konu ile ilgili potansiyel risklere ve ortaya çıkabilecek sorunlara yönelik farkındalık düzeylerinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Uygulama ölçeğinde, yasal çerçevenin net olarak takibini teşvik edici yaptırımlar izlenmelidir.
- Tehlikeli madde taşımacılığı sürecinde farklı görevlerde çalışan personele yönelik eğitimlerin düzenlenmesine, farklı düzeylerdeki bu eğitimlerin devamlılığına önem verilmelidir.
- Ramak kala kayıtları kantitatif yapıda olmasına karşılık, kalitatif risk analizi süreçlerinde oldukça önemli bir işleve sahiptir. Bu kayıtların sistematik olarak tutulması, risklere sebebiyet veren tehlikelerin risk oluşumundaki payı vb. sayısal değerlere erişimi sağlayacaktır.
- Sürdürülebilir yaklaşım kapsamında, farklı kanallar aracılığıyla, (i) risklerin ve meydana gelen sorunların halk sağlığı ve çevre üzerinde neden olacağı sorunlara, (ii) doğal kaynak rezervlerinin etkin kullanımına, (iii) sektörel atıkların çeşidine uygun geri dönüşüm süreçlerinin yürütülmesine vb. dikkat çeken bilgilendirmeler yapılmalıdır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- ADR, 2019. Tehlikeli Malların Karayolu İle Taşınmasına İlişkin Avrupa Anlaşması. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, Cenevre.
- Akçetin, E., 2013. Tehlikeli Madde Lojistiğinde Risk Yönetimi. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Arslan, Ö., Zorba, Y., Stevak, J., 2018. Fault Tree Analysis of Tanker Accidents during Loading and Unloading Operations at the Tanker Terminals. *Journal of ETA Maritime Science*, / JEMS, 2018; 6(1): 3-16.
- Benner, L., 1978. Five Accident Theories and Their Implications for Research. Paper presented at the Joint International Meeting of the American Association for Automotive Medicine and the International Association for Accident and Traffic Medicine, Ann Arbor MI., 2-3.
- Ceylan, H., Başhelvacı, V.S., 2011. Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.3, No.2, June 2011.
- Deacon, T., Amyotte, P.R., Khan, F.I., 2010. Human Error Risk Analysis in Offshore Emergencies. *Safety Science*, Volume 48, Issue 6, July 2010, Pages 803-818.
- Dünya Bankası, 2010. Connecting to Compete: Logistica Performance Index and its Indicators. The World Bank Publishing.
- Erdoğan, A., 2015. Hata Ağacı Analizi, Literatür Araştırması ve Orta Ölçekli Bir İşletmede Uygulama. *ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi / Cilt: 3 / Sayı: 1 / Ocak-Nisan 2015 / Sayfa: 106-122*.
- Kim, D.H, Cho, W.I., Seung, J.L., 2020. Fault Tree Analysis as a Quantitative Hazard Analysis with a Novel Method for Estimating the Fault Probability of Microbial Contamination: A Model Food Case Study. *Food Control*, Volume 110, April 2020, 107019.
- Kraidi, L., Shah, R., Matipa, W., Borthwick, F., 2020. Using Stakeholders' Judgement and Fuzzy Logic Theory to Analyze the Risk Influencing Factors in Oil and Gas Pipeline Projects: Case Study in Iraq, Stage II. *International Journal of Critical Infrastructure Protection* Volume 28, March 2020, 100337.
- KUGM, 2019. Tehlikeli Mal ve Kombine Taşımacılık Düzenleme Genel Müdürlüğü Teşkilat, Görev, Yetki ve Sorumluluk Yönergesi. Karayolu Düzenleme Genel Müdürlüğü, <http://www.kugm.gov.tr>, (Erişim tarihi: 11.11.2019).
- Kuzu, A.C., Akyüz, E., Arslan, O., 2019. Application of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) to Maritime Industry: A Risk Analysing of Ship Mooring Operation. *Ocean Engineering* Volume 179, 1 May 2019, Pages 128-134.
- Ringdahl, L.H., 2001. "Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety", Second Edition, Tailor and Francis, London Newyork 2001.
- Lee, W.S., Grosh, D.L., Tillman, F.A., Lie, C.H., 1985. Fault Tree Analysis, Methods, and Applications – A Review. *IEEE Transactions on Reliability*, vol. R-34, no. 3, pp. 121-123.
- Lojistik Hizmetlerinin Geliştirilmesi Özel İhtisas Komisyon Raporu, 2014. Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018).
- Menteş, A. & Helvacioğlu, İ., 2010. Çok Noktadan Bağlı Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemlerinde Hata Ağacı Tabanlı Risk Analizi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, Sayı: 182, Şubat 2010.

- Özdikmen, T., 2016. Karayolu İle Tehlikeli Madde Taşımacılığı ve Nakliye Acil Durum Yönetimi. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Özer, B.B., 2011. Türkiye'de Karayolu İLE Tehlikeli Madde Taşımacılığının Avrupa Anlaşması (ADR)'na Geçiş Kapsamında Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özkılıç, Ö., 2005. "İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri Ve Risk Değerlendirme Metodolojileri", Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, 27-140.
- Resmi Gazete, 2019. Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik. 24.04.2019 tarihli ve 30754 sayılı Resmi Gazete.
- Shi, J., Chang, Y., Khan, F., Zhu, Y., Chen, G., 2020. Methodological Improvements in the Risk Analysis of an Urban Hydrogen Fueling Station. Journal of Cleaner Production Volume 257, 1 June 2020, 120545.
- Şenel, B., Şenel, M., 2013. Risk Analizi: Türkiye'de Gerçekleşen Trafik Kazaları Üzerine Hata Ağacı Analizi Uygulaması. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt/Vol.: 13- Sayı/No: 3 (65-84).
- TGD Bulletin, 2018. Dangerous Goods Safety Marks. Transportation of Dangerous Goods, Transport Canada.
- WHSQ, 2012. Managing the Risks from Dangerous Goods. Queensland Government, Workplace Health and Safety Queensland.