



Araştırma Makalesi • Research Article

Tehlikeli Madde Taşımacılığı Güzergâh Seçimi Problemi İçin Stokastik Bir Risk Analizi

A Stochastic Risk Analysis for the Problem of Route Selection of Hazardous Materials' Transportation

Hamit Erdal ^{a,*}

^a Dr., Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bölümü, 25000, Erzurum/Türkiye.
ORCID: 0000-0001-8352-6427

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 08 Ocak 2018

Düzeltilme tarihi: 20 Nisan 2018

Kabul tarihi: 10 Mayıs 2018

Anahtar Kelimeler:

Tehlikeli Madde Taşımacılığı

Güzergâh Seçimi

SMAA-2

ÖZ

Tehlikeli madde taşımacılığı günümüzde can ve mal güvenliğinin sağlanması ve faaliyetlerin aksamadan yürütülebilmesi için üzerinde önemle durulması gereken konulardan biridir. Artan sanayileşme düzeyi ile birlikte daha fazla kullanılmaya başlanan tehlikeli maddelerin bir noktadan diğer bir noktaya güvenle taşınması daha önemli bir hâl almıştır. Tehlikeli maddelerin taşınmasında her ne kadar tüm taşıma modları etkin olarak kullanılsa da en çok karayolu kullanılmaktadır. Bu yüzden, tehlikeli maddelerin içerdiği risk göz önüne alınarak, daha titiz bir taşıma ve dolayısıyla daha etkin bir risk yönetimi gerekmektedir. Bu çalışmada tehlikeli madde taşımacılığının maliyet etkin, güvenli ve kesintiye uğramadan gerçekleştirilebilmesi için en uygun güzergâhın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede Gaziantep ile Erzurum illeri arasında tehlikeli madde taşımacılığı yapan bir firmanın yetkilileriyle yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilerek SMAA-2 yöntemiyle tehlikeli madde taşımacılığı güzergâh seçimi yapılmıştır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 08 January 2018

Received in revised form 20 April 2018

Accepted 10 May 2018

Keywords:

Hazardous Materials

Hazardous Materials Transportation

Route Selection

SMAA-2

ABSTRACT

Today, hazardous materials' transportation is one of the important issues that must be taken into consideration in order to ensure the safety of life and property and to carry out operations without any interruption. With the increasing level of industrialization, it has become more important to move hazardous materials, which have begun to be used more frequently, safely from one point to another. Although all transportation modes are used effectively in the hazardous materials' transportation, mostly the roads are used. For this reason, by taking into consideration the risk, involved in hazardous materials, they require more rigorous transportation and more effective risk management. In this study, it is aimed to determine the most appropriate route for the hazardous materials' transportation in a cost effective, safe and uninterrupted manner. In this context, face-to-face meeting has been held with the managers of a company transporting hazardous materials between Gaziantep and Erzurum provinces, and the hazardous materials' transportation routes are selected by SMAA-2 method.

1. Giriş

Türkiye'de yük ve yolcu taşımacılığında en fazla karayolu tercih edilmekte, en çok Tehlikeli Madde Taşımacılığı (TMT) da karayolu ile yapılmaktadır (MEB, 2011: 4). Ancak bu maddeler kimyasal özellikleri nedeniyle diğer malzemelere göre daha farklı şekilde ele alınmalı ve incelenmelidir. Çünkü canlı ve cansız yaşamı tehdit eden maddelerin taşınması etkin bir risk ve taşımacılık yönetimi gerektirmektedir.

Örneğin, ABD Ulaştırma Bakanlığı Boru Hattı ve Tehlikeli Madde Güvenliği İdaresi tarafından yapılan araştırmada TMT'ne ilişkin 2013 yılında 15.919 olay tespit edilmiştir. Bu

olaylarda 28 kişi yatarak, 132 kişi de ayakta tedavi görmüştür. Aynı olaylarda 12 kişi hayatını kaybetmiş ve 81.365.866 dolarlık kayıp meydana geldiği raporlanmıştır (PHMSA, 2017: 1).

Yukarıdaki örnekte de açıkça görüleceği şekilde, TMT son derece hassas bir çalışma alanı olup, hem can güvenliği hem de ekonomik açıdan üzerinde titizlikle durulması gereken bir konudur. Bu doğrultuda tehlikeli maddelerin taşınması için riskleri en aza indiren bileşenlerden biri de güzergâh seçimi problemidir.

* Sorumlu yazar/Corresponding author.
e-posta: hamit_erdal@hotmail.com

Tehlikeli maddeler; ihtiva ettiği bileşimleri nedeniyle, genel güvenliği ve düzeni, doğal hayatı ve toplumu tehlikeye sokabilecek olan maddelerdir (BMAEK, 2007: 1).

ABD İş Sağlığı Güvenliği İdaresi (OSHA) ise tehlikeli maddeyi, fiziksel tehlike ve sağlık tehlikesine neden olabilecekler şeklinde ikiye ayırmıştır. Fiziksel tehlike olarak parlayıcı, patlayıcı, yanıcı, kararsız reaktifler veya su ile tepkimeye girebilecekler ile normal elleçleme, oksitleyici, piroforik maddelerin kullanımı veya depolanması esnasında toz, gaz, duman veya sis açığa çıkaran kimyasal etkiler öngörülmüştür. Sağlık tehlikesine neden olabilecek tehlikeli maddeler ise, zehirli etmenler, tahriş ediciler, aşındırıcılar, ciğerleri, deriyi, gözleri veya mukoza membranını etkileyen, hassaslaştırıcılar, hematopoetik sisteme etki eden etmenler ile kanserojenler olarak belirlenmiştir (OSHA, 2017: 1).

Özellikle gelişmiş ülkelerde TMT, endüstri için vazgeçilemez bir öğedir. Bu doğrultuda günümüzde tehlikeli maddelerin birçok sektörde kullanılmasına ve artan ihtiyacın karşılanması için ulaştırma faaliyetlerine bağlı olarak tehlikeli yüklerin yer değiştirmesi tehlikeli madde lojistiği olarak tanımlanmıştır (Akçetin, 2013: 2).

Tehlikeli madde lojistiğinde önemli olan bir diğer husus da ambalajlama, işaretleme, elleçleme, taşıma ve depolama fonksiyonlarının taşıma moduna göre etkin bir şekilde uygulanması ve yönetimidir (Daimonlogistics, 2017: 1). Eğer yukarıda sıralanan lojistik fonksiyonlar etkin yönetilemez ise hem yaşam alanlarına zarar verilebilir hem de işletmeler için çok büyük zararlara neden olunabilir.

Tehlikeli maddelerin taşınmasında da sorumluluklar farklı şekillerde dağılmıştır. Öyle ki, göndericinin, yükleyenin, doldurmanın, taşımacının, taşıt sürücüsünün ve araçta bulunan diğer görevlilerin, teslim alanın, tank/konteyner/depo işletmecisinin çok çeşitli ve farklı sorumlulukları bulunmaktadır. Bu sıralanan paydaş ve aşamaların herhangi birinde meydana gelebilecek olası bir ihmal diğer tüm paydaşlara yansımakta ve önlenemez olumsuzluklara neden olabilmektedir (Ulaştırma Bakanlığı, 2008: 5).

Ek olarak, tehlikeli maddelerin yer değiştirme işlemleri sırasında da çeşitli önlemler alınması zorunludur. Taşınma sırasında, taşıma kaplarının darbe ve çarpmalardan korunması ve düşürülmemesi gerekmektedir. Taşıtın hızı tehlikeli madde taşıyan araçlar için öngörülen hız sınırlamalarını aşmamak üzere, görüş, yol, hava ve trafik durumuna göre bir tehlike oluşturmayacak düzeyde tutulmalıdır (Ulaştırma Bakanlığı, 2008: 5).

Ülkemizde, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından karayolunda taşınan yükler yirmi bir farklı sınıfa ayırmıştır. Bu sınıflandırma kapsamında TMT için özel bir tehlike sınıflandırılması yapılmamış olup, kimyasallar ve kimyasal ürünleri ile ikincil hammadde ve atıkların ayrı sınıflara, ham petrol ve doğalgaz ayrı bir sınıfa, rafine edilmiş petrol ürünleri ve nükleer yakıtlar ayrı bir sınıfa dâhil edilmiştir (KGM, 2010: 210).

TMT'de canlı ve cansız çevre korunurken maliyetlerin de kontrol altında tutulması, bu nedenlerle de en az risk ve maliyet oluşturan güzergâhın belirlenmesi son derece önemlidir.

Güzergâh seçimi problemi, çok boyutlu ve belirsizlikler içeren bir problemdir. Lojistik hizmet sağlayıcıların en kısa sürede, en kısa yolu takip ederek ve en güvenli şekilde operasyonlarını tamamlamaları ve hedef noktaya varmaları, kompleks, stokastik ve çok amaçlı/kriterli bir karar vermeyi gerektirmektedir (Murat ve Kulak, 2005: 425).

Yapılan literatür araştırmasında, rotalama ve güzergâh seçimi problemleri için zengin bir literatür tespit edilmesine rağmen TMT konusunda az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle deterministik verilerin kullanıldığı ve tehlikeli madde taşımacılığı probleminin varsayımsal yaklaşımlarla modellendiği tespit edilmiştir (ör: Bell, 2007; Dadkar vd., 2008; Caramia vd., 2010; Faghih-Roohi vd., 2016).

Bu çalışmanın amacı, TMT için en uygun güzergâhın seçilmesi amacıyla karar desteği sağlamaktır. TMT kapsamında yapılan güzergâh belirleme çalışmaları da diğer güzergâh belirleme çalışmalarında olduğu gibi özünde nitel ve nicel pek çok kriteri barındırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan karar kriterlerinin belirlenmesi sürecinde literatürde TMT kapsamında yapılan güzergâh belirleme çalışmalarından faydalanılmıştır.

TMT kapsamındaki güzergâh belirleme problemlerinde kullanılacak kriterlerden bazıları, doğal olarak kesin olmayan değerler içerebilmektedir. Meydana gelebilecek risklerin önceden tahmin edilememesinin yanı sıra, güzergâh boyunca anlık meydana gelebilecek olaylar hakkında da elde edilen bilgiler net ve doğru olmayabilir. Bu nedenle, TMT kapsamında yapılacak çalışmalarda karar kriter değerleri stokastik olarak ifade edilebilmektedir. Bu çalışmada ele alınan problemde kullanılan karar kriterlerinin stokastiklik ve belirsizlik barındırmaları nedeniyle Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi-2 (SMAA-2) yöntemi kullanılmıştır. SMAA-2 yöntemi belirsiz ve/veya kesin olmayan karar kriter değerlerinin stokastik değişkenler ile ifade edilmesine olanak sağlayabilmektedir.

Bu kapsamda Erzurum-Gaziantep arasında petrokimya ürünleri taşıyan bir firma için mevcut üç güzergâh arasından maliyet ve olası risk mahsuplaşmasını esas alan bir risk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu genel çerçevede söz konusu firmanın sahibi, lojistik müdür ve operasyon amiri ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilerek, karar vericilere güzergâh karar alternatifleri sunulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde TMT konusunda yapılan çalışmalar incelenmiş, üçüncü bölümde SMAA-2 yöntemi kısaca tanıtılmış, dördüncü bölümde yöntem probleme uygulanmış ve ileride yapılacak çalışmalara önerilerin de bulunduğu sonuç bölümüyle çalışma tamamlanmıştır.

2. Literatür Taraması

TMT konusunda, 1982-2004 yılları arasında yapılan çalışmalar Erkut vd. (2007), 2005-2014 yılları arasında yapılan çalışmalar ise Yılmaz vd. (2016) tarafından kapsamlı olarak incelendiğinden bu çalışmada gerçekleştirilen çalışmalar da daha güncel olanlara odaklanılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda TMT probleminin, risk analiz ve modelleri kapsamında incelendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle önceki yıllarda yapılan çalışmalar, önerilen model ve yöntemler ile ele alınan kriterler kapsamında ortaya koyulmuş ve Tablo 1 oluşturulmuştur.

Tablo 1. TMT Konusunda Yapılan Çalışmalar

Çalışma	Yöntem	Ele Alınan Risk Model/Kriteri	Ulaştırma Mo- du	Tehlikeli Madde Türü
Huang (2006)	Analitik hiyerarşi süreci, Coğrafi bilgi sistemleri	Etkilenecek insan sayısı, terör riski, hırsızlık riski, trafik yoğunluğu, acil müdahale olanakları	Karayolu	Genel
Alumur ve Kara (2007)	Çok amaçlı tamsayı programlama modeli	Etkilenecek insan sayısı	Karayolu	Geri dönüştürülebilir tehlikeli atık maddeler
Bell (2007)	Oyun Teorisi	Kaza olma olasılığı	Karayolu	Genel
Carotenuto vd. (2007)	Tabu arama sezgiseli	Güzergâh uzunluğu, nüfus yoğunluğu	Karayolu	Genel
Glickman vd. (2007)	Matematiksel programlama modeli	Kaza sayısı	Demiryolu	Kimyasal maddeler
Erkut ve Alp (2007)	Doğrusal olmayan karışık tamsayı programlama modeli, Dinamik programlama modeli	Kaza olma olasılığı, etkilenecek insan sayısı	Karayolu	Genel
Dadkar vd. (2008)	K-en kısa yol algoritması, Karışık tamsayı programlama modeli, Genetik algoritma	Kaza olma olasılığı, etkilenecek insan sayısı	Karayolu	Genel
Bonvicini ve Spadoni (2008)	Coğrafi bilgi sistemleri	Karayolu ağının yoğunluğu, nüfus dağılımı, meteorolojik durum	Karayolu	Genel
Dadkar vd. (2010)	Oyun teorisi	Terör riski	Karayolu	Genel
Caramia vd. (2010)	Sezgisel algoritma	Güzergâh uzunluğu, güzergâh süresi, sosyal riskler (kaza olma olasılığı ve etkilenecek insan sayısı)	Karayolu	Parlayıcı maddeler
Li ve Leung (2011)	Çok amaçlı uzlaşık programlama modeli-Coğrafi bilgi sistemleri	Güzergâh süresi, kaza olma olasılığı, kaza anında güzergâhı kullanan diğer insanlar, yol dışında etkilenecek nüfus, olumsuz ekonomik etki	Karayolu	LPG
Das vd. (2012)	Çok amaçlı optimizasyon modeli	Kaza olma olasılığı, etkilenecek insan sayısı	Karayolu	Parlayıcı ve uçucu atıklar
Verma vd. (2012)	Tabu arama sezgiseli	Kaza riski, nüfus riski	Demiryolu	Genel
Chakrabarti ve Parikh (2013)	ALOHA yazılımı	Kaza oranı, güzergâh yoğunluğu, nüfus yoğunluğu	Karayolu	Parlayıcı, toksik ve aşındırıcı maddeler
Desai ve Lim (2013)	Stokastik dinamik programlama	Etkilenecek insan sayısı, maliyet, güzergâh süresi	Karayolu	Genel
Kang vd. (2014)	Riske maruz değer, Eşitlik modeli, Lagrange gevşetmesi.	Nüfus yoğunluğu	Karayolu	Genel
Mahmoudabadi ve Seyedhosseini (2014)	Bulanık analitik hiyerarşi süreci, Kaos teorisi, Matematiksel programlama modeli	Kaza riski, etkilenecek insan sayısı, çevresel riskler ve altyapısal riskler (ulaşımı aksatacak tünel, köprü vb.nin kullanılamaz hale gelmesi)	Karayolu	Genel
Karabulut ve Öcalır-Akünel (2015)	Analitik hiyerarşi süreci, Coğrafi bilgi sistemleri	Kaza olma olasılığı, çevresel riskler	Karayolu	Akaryakıt (Benzin, Motorin) ve LPG
Bronfman vd. (2015)	Matematiksel programlama modeli, Sezgisel algoritma	Etkilenecek insan sayısı	Karayolu	Genel
Faghih-Roohi vd. (2016)	Dinamik koşullu riske maruz değer modeli	Kaza olma olasılığı, etkilenecek insan sayısı	Karayolu	Genel
Szeto vd. (2017)	Rota-akış emisyon algoritması, Özyinelemeli dinamik algoritma	Kaza olma olasılığı	Karayolu	Akaryakıt ve parlayıcı maddeler
Bula vd. (2017)	Değişken komşuluk arama algoritması, Karışık tamsayı programlama modeli	Kaza anında etkilenecek insan sayısı	Karayolu	Genel
Garrido ve Bronfman (2017)	Matematiksel programlama modeli	Nüfus yoğunluğu, ölümlü kaza oranı	Karayolu	Endüstriyel katı atık
Hosseini ve Verma (2017)	Riske maruz değer modeli	Kaza olma olasılığı	Demiryolu	Genel
Bahramian ve Bagheri (2017)	Coğrafi bilgi sistemleri	Güzergâh uzunluğu, etkilenecek alan, etkilenecek insan sayısı, çevresel riskler (etkilenecek nehir, göl, havaalanı varlığı)	Karayolu, Demiryolu, Boruhattı	Akaryakıt

Sonuç olarak TMT ile ilgili literatür tarandığında TMT'ne ilişkin güzergâh seçimine yönelik sınırlı sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile TMT güzergâh seçimi probleminde SMAA-2 yönteminin uygulanması çalışmanın farklılığını ortaya koymaktadır.

Yapılan literatür çalışmasında, TMT kapsamında güzergâh seçimi problemi için SMAA-2 yönteminin kullanıldığı başka bir çalışma tespit edilememiştir. Ayrıca Erzurum-Gaziantep illeri arasındaki güzergâhların incelendiği bir güzergâh belirleme çalışmasına da rastlanmamıştır.

3. SMAA-2 Metodu

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinde çözüm sonuçları önemli ölçüde karar vericilerin/uzmanların değerlendirmelerine göre kriter ağırlıkları ve alternatiflerin kriterlere göre aldıkları değerlerin doğru ve tutarlı bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Doğal olarak, gerçek hayat problemlerinde bu değerlerin tamamını ve kesin değerlerini elde etmek oldukça güçtür. Bunun yanında grup karar verme nedeniyle karar vericilerin/uzmanların değerlendirmelerinde ki farklılıklarda, bahse konu değerlerin doğru bir şekilde saptanmasını çok daha zor bir hale getirmektedir (Lahdelma ve Salminen, 2001: 444).

SMAA yöntemi, alternatiflerin karar kriterlerinden aldıkları değerlerin ve karar kriterlerinin ağırlıklarının belirsiz olduğu gerçek hayat problemlerine çözüm üretebilmek için Lahdelma vd. (1998) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde belirsiz ve/veya kesin olmayan alternatiflerin karar kriter değerleri stokastik değişkenler ile üzerinde karar vericiler tarafından fikir birliği sağlanamayan kriter ağırlıkları da birleşik yoğunluk fonksiyonlu ağırlık dağılımı ile ifade edilir. Yöntemin en kritik özelliklerinden biri de hiçbir kriter ağırlık değeri girilmeden kullanılabilmesidir. Yöntem algoritmasında, alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan (i) kabul edilebilirlik indisi, (ii) merkezi ağırlık vektörü ve (iii) güvenilirlik faktörü olmak üzere üç tip tanımlayıcı ölçek mevcuttur. Ölçek hesaplamalarında sayısal teknikler, çok boyutlu integraller ve Monte Carlo simülasyonu kullanılmaktadır (Lahdelma ve Salminen, 2001: 446).

SMAA metodu diğer ÇKKV yöntemlerinde olduğu gibi doğrudan alternatifleri sıralamak yerine, sadece alternatiflerin kabul edilebilirliğini belirlemektedir. Zaman içerisinde seçim ve sıralama problemleri için SMAA-2, SMAA-3, SMAA-O, Ref-SMAA yöntemleri, sınıflandırma problemleri için ise SMAA-TRI metodu geliştirilmiştir.

SMAA-2 yöntemi, Lahdelma ve Salminen tarafından 2001 yılında grup karar vermenin esas olduğu kesikli stokastik ÇKKV problemleri için önerilmiştir (Tervonen ve Lahdelma, 2007: 500). Yöntem en uygun alternatifin seçimi ve alternatiflerin sıralamasını yapmak için kullanılabilir. Yöntemde; sıra kabul edilebilirlik indisi, üç tür en iyi sıra ölçüğü ve tümleşik kabul edilebilir indisi olmak üzere beş farklı ölçek kullanılmaktadır (Lahdelma ve Salminen, 2001: 452-453).

Yöntemin matematiksel ifadesi aşağıda sunulmuştur (Tervonen ve Lahdelma, 2007:501-504; Demirdöğen vd., 2017: 330-333):

Karar problemi, n adet karar kriterine göre değerlendirilen m adet alternatif $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ ile ifade edilir. Karar verici/uzmanın tercih yapısı, değer fonksiyonu $u(x_i, w)$ veya gerçek değerli fayda ile temsil edilir. SMAA-2 yönteminin kesin kriter değerleri ve/veya kesin kriter ağırlıklarının bilinemediği durumlar için geliştirilmesi nedeniyle belirsiz karar kriter değerleri, X uzayında birleşik olasılık dağılımlı $f(\xi)$ yoğunluk fonksiyonu ve ξ_{ij} stokastik değişkeni ile ifade edilir. Karar vericiler/uzmanlar tarafından kesin olarak bilinmeyen veya kısmen bilinen tercihler, W uygun ağırlık kümesinde $f(w)$ birleşik yoğunluk fonksiyonlu ağırlık dağılımıyla temsil edilir. Tercih bilgisinin toplam eksikliği Denklem (1)'de sunulduğu şekilde W içindeki uniform ağırlık dağılımıyla ifade edilir.

$$f(w) = 1/vol(W) \quad (1)$$

Ağırlıklar negatif değer alamamakla beraber normalleştirilmiş değerlerdir (Denklem (2))

$$W = \left\{ w \in R^n : w \geq 0 \text{ ve } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \right\} \quad (2)$$

Değer fonksiyonundan, stokastik karar kriter ve ağırlık dağılımlarını

$u(\xi_i, w)$ değer dağılımlarına yerleştirilmek için istifade edilir. Değer dağılımına bağlı olarak Denklem (3)'de sunulan sıralama fonksiyonu ile her bir alternatifin sıralaması (en iyi (=1), en kötü (=m) ve tamsayı) yapılır. Sıralama doğru ise $\rho = 1$, değilse 0 olur.

$$rank(i, \xi, w) = 1 + \sum_{k=1}^m \rho(v(\xi_k, w) > v(\xi_i, w)) \quad (3)$$

Daha sonra Denklem (4) ile stokastik uygun sıra ağırlıkları kümesi analizi yapılır. $w \in W_i^r(\xi)$ olan farklı alternatifler için herhangi bir ağırlık değerinin uygun olarak atanmasıyla, x_i alternatifi r sırasını alır.

$$W_i^r(\xi) = \{ w \in W : rank(i, \xi, w) = r \} \quad (4)$$

SMAA-2 yönteminin sıralama yapabilmesi için geliştirilen ilk tanımlayıcı ölçüğü olan sıra kabul edilebilirlik indisi b_i^r , her bir alternatifin o sırada olma olasılığını gösterir. En yüksek seviyede kabul edilebilir (en uygun) alternatifler ilk baştaki sıralar için yüksek oranda kabul edilebilir olan alternatiflerdir. Bu indis 0-1 arasında bir değer alır. 1 değeri, belirlenen herhangi bir ağırlık için sunulan sıralamanın her zaman sağlanacağını, 0 değeri ise, alternatifin hiçbir zaman belirlenen sıralamayı sağlayamayacağını ifade eder. Sıra kabul edilebilirlik indisi Denklem (5) ile hesaplanır.

$$b_i^r = \int_{\xi \in X} f_x(\xi) \int_{w \in W_i^r(\xi)} f_w(w) dw d\xi \quad (5)$$

Merkezi ağırlık vektörü w_i^c , karar vericilerin/uzmanların söz konusu alternatifi destekleme tercihlerini ifade eder. Merkezi ağırlık vektörü Denklem (6) ile hesaplanır.

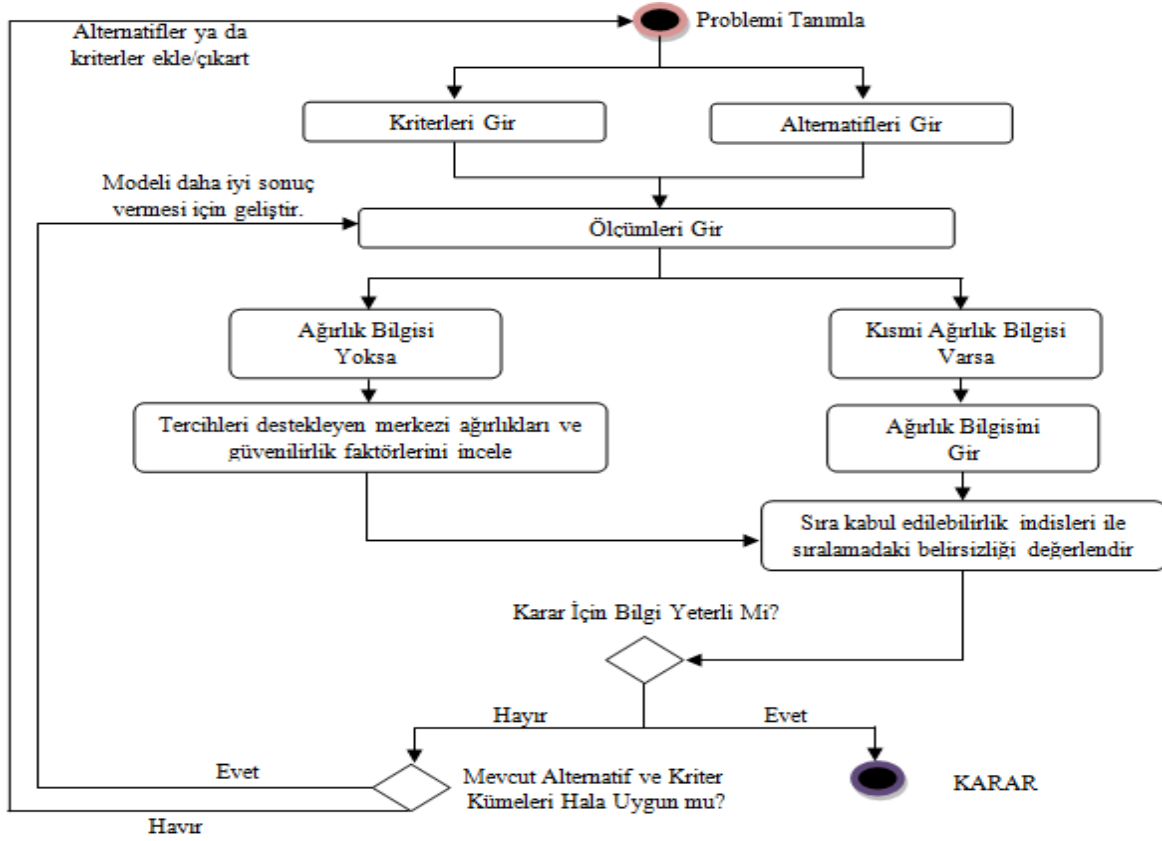
$$w_i^c = \int_{\xi \in X} f_x(\xi) \int_{w \in W_i^1(\xi)} f_w(w) w dw d\xi / a_i \quad (6)$$

Güvenilirlik faktörü p_i^c , karar kriterlerinin etkin alternatifleri ayırtmakta ne kadar doğru olup olmadığını ölçer. Güvenilirlik faktörü Denklem (7) ile hesaplanır.

$$p_i^c = \int_{\xi \in X: \text{rank}(i, \xi, w_i^f) = 1} f(x(\xi)) d\xi \quad (7)$$

SMAA-2 metodunun uygulanması için açık kaynak kodlu ve java tabanlı JSMAA yazılımı geliştirilmiştir (Tervonen, 2014). SMAA-2 yöntemi için JSMAA programının uygulama adımları Şekil 1'de sunulmuştur.

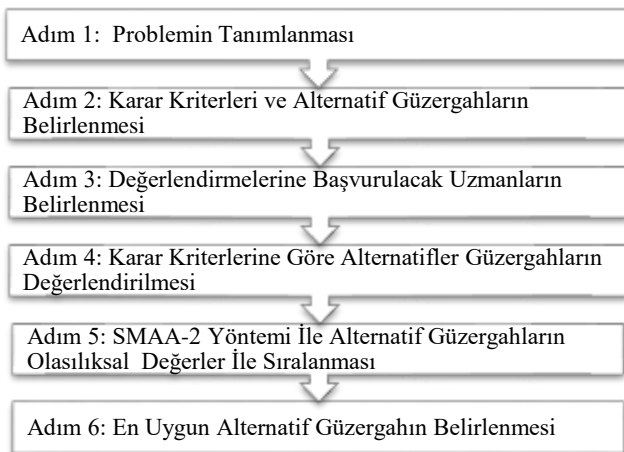
Şekil 1. SMAA-2 Yöntemi için JSMAA Yazılımı Uygulama Adımları



4. Uygulama

Erzurum-Gaziantep illeri arasında tehlikeli madde taşımacılığı güzergah seçimi probleminin çözümü için Şekil 2'de sunulan uygulama adımları izlenmiştir.

Şekil 2. Uygulama Adımları



Adım 1: Bu çalışmada, Erzurum-Gaziantep illeri arasında tehlikeli madde taşımacılığı yapan bir firma için maliyet ve olası riskleri minimize edecek en uygun güzergâh alternatifi araştırılmıştır.

Adım 2: Tehlikeli madde taşımacılığı kapsamında güzergâh seçimi için literatürde daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda kullanılan kriterlerden uzmanlarca belirlenen 6 tanesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan karar kriterleri ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur;

- Güzergâh Uzunluğu (km.):* Erzurum ve Gaziantep illeri arasında belirlenen üç alternatif güzergâhın uzunluğudur. Verilerin elde edilmesi sürecinde GoogleMaps uygulamasından istifade edilmiştir.
- İklimsellik/Afetsellik Riski:* Tehlikeli madde taşımacılığı sürecinde sevkiyatı aksatacak ve/veya tehlikeye sokacak deprem, sel, heyelan ve aşırı kış şartları/don olaylarının sayısıdır. Söz konusu afet olaylarının sayılarına ait verilere T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın resmi internet sayfasında bulunan, Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB, 2017)'nden illerin afetselliği sorgulanarak ulaşılmıştır. TABB'ın afet kriterlerine göre: (i) en az 10 ölü, veya (ii) en az 50 yaralı, veya (iii) afetten etkilenen en az 100 kişi olması, veya (iv)

afetin genel hayata etkili olması, kriterlerinden en az birinin olması afetin arşive dâhil olmasına neden olmaktadır.

- (iii) *Etkilenecek İnsan Sayısı*: Muhtemel bir risk olayı sonrasında güzergâh boyunca olaydan etkilenebilecek insan sayısını göstermektedir. Bu kriter için her üç güzergâh alternatifi boyunca belediyelere ait nüfus verilerine, Türkiye İstatistik Kurumu'nun resmi internet sayfasında bulunan adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (TÜİK, 2017)'nden ulaşılmıştır.
- (iv) *Kaza Sayısı*: Her üç güzergâh alternatifinde meydana gelen kaza sayılarıdır (Her ne kadar karar verme sürecinde kaza yeri ve bunun diğer kriterler üzerindeki etkisinin de dikkate alınması gerekmekte ise de bu çalışmada güzergâh seçimi problemi ele alındığından, tüm güzergâhın yer olarak değerlendirilmesi ve alternatif güzergâhlar arasındaki farkın ortaya konulmaya çalışılması nedeniyle bu çalışmada, kaza sayısı kriteri ele alınmıştır.). Önceki yıllarda meydana gelen kaza sayılarına ait verilere T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın resmi internet sayfasında bulunan, Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB, 2017)'nden illerin afetselliği sorgulanarak ulaşılmıştır.
- (v) *Terör Riski*: Her üç güzergâh alternatifinde meydana gelmesi muhtemel terör olaylarını ifade etmektedir. Bu kriter kapsamında alternatif illerin incelenmesi için uzmanlardan aralıksal (interval) ölçekte 1-10 değerleri arasında değerlendirme yapmaları istenmiştir (1-Kesinlikle risksiz, 10-Kesinlikle riskli).
- (vi) *Çevresel Riskler*: Muhtemel bir risk olayı neticesinde çevreye verilecek zararı ifade etmektedir. Bu kriter kapsamında alternatif güzergâhların incelenmesi için uzmanlardan 1-5 aralıksal ölçüğe göre değerlendirme yapmaları istenmiştir (1-Kesinlikle risksiz, 5-Kesinlikle riskli).

Kullanılması planlanan alternatif güzergâhlar Şekil 3'te sunulmuştur. Bunlar; Gaziantep-Sivas-Erzurum güzergâhı

Tablo 2. Alternatif Güzergâhlar için Karar Kriter Değerleri

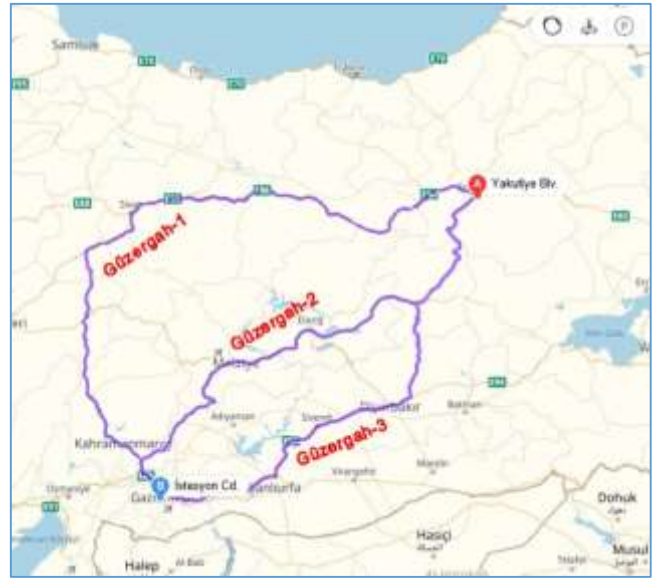
Güzergâh Uzunluğu (km.)	İklimsellik/Afetsellik Riski (adet)	Etkilenecek İnsan Sayısı (kişi)	Kaza Sayısı (adet)	Terör Riski (1-10)	Çevresel Riskler (1-5 aralıksal)
Güzergâh-1	850	5	752.514	5	2
Güzergâh-2	650	22	523.412	26	5
Güzergâh-3	650	40	473.624	40	7

Adım 5: Problemin kesin olarak öngörülemez ve yoğun risk içeren bir karar problemi olması nedeniyle uzmanlar, kriterlerin ağırlıkları konusunda kesin bir yargıya varamadıklarından net kriter ağırlıkları elde edilememiş, bunun yerine uzmanlar tarafından karar kriterleri önem derecelerine göre sıralanmıştır. Bu sıralama şu şekildedir: Kaza Sayısı \geq Güzergâh Uzunluğu \geq Etkilenecek İnsan Sayısı \geq Terör Riski \geq Çevresel Riskler.

Tablo 2.'de sunulan veriler JSMAA programına girilmiş ve problem çözülmüştür. Sıra kabul edilebilirlik indisi, her bir alternatif için her bir karar kriterine göre girilen uzman değerlendirmelerine göre alternatiflerin uygunluk sıralamasını yapmaktadır. Problem için oluşturulan modele ait sıra kabul edilebilirlik indisi Şekil 4.'de sunulmuştur.

(Güzergâh-1), Gaziantep-Malatya-Erzurum güzergâhı (Güzergâh-2) ve Gaziantep-Diyarbakır-Erzurum güzergâhı (Güzergâh-3) dir.

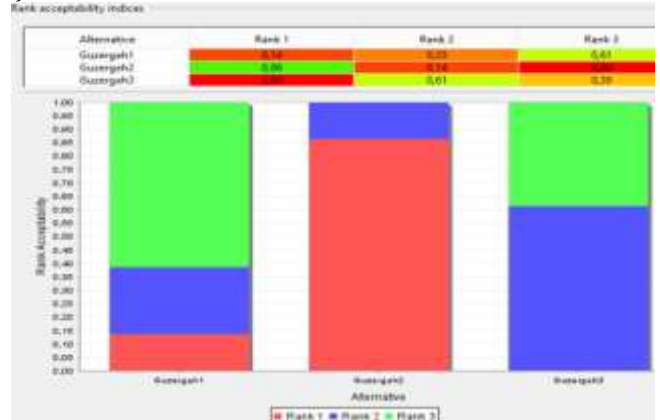
Şekil 3. Güzergâh Alternatifleri



Adım 3: Karar verici grubu olarak Erzurum-Gaziantep arasında tehlikeli madde taşımacılığı yapan firmanın sahibi, lojistik müdürü ve operasyon amirinden oluşan üç yönetici (uzman) belirlenmiştir. Uzmanların, tehlikeli madde taşımacılığı güzergâh seçiminde kullanılacak karar kriterlerinin önem derecelerinin (ağırlıklarının) belirlenmesinde kullanılmak üzere değerlendirmelerine başvurulmuştur.

Adım 4: Bu safhada uzmanlar tarafından alternatifler karar kriterlerine göre değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Değerlendirmeler esnasında uzman grup arasında fikir birliği sağlanmıştır. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen değerler Tablo 2'de sunulmuştur.

Şekil 4. Alternatif İllerin Sıra Kabul Edilebilirlik İndisleri

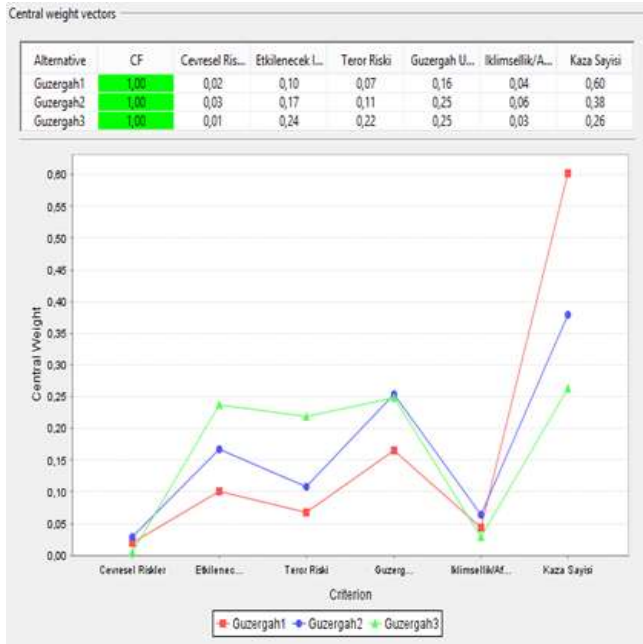


Birinci sırada, % 86 olasılıkla, Güzergâh-2 en uygun alternatif olarak seçilmiştir. Güzergâh-1'in birinci sırada olma olasılığı % 14, Güzergâh-3'ün ise % 0 olarak hesaplanmıştır.

İkinci sıra için en uygun güzergâh alternatif i %61 olasılıkla Güzergâh-3'tür. Güzergâh-1'in ise ikinci sırayı alma olasılığı % 25'dir. TMT için en az tercih edilen alternatif güzergâh ise Güzergâh-3'tür.

Modele ait elde edilen güvenilirlik faktörü ve merkezi ağırlık vektör değerleri Şekil 5'de sunulmuştur.

Şekil 5. Güvenilirlik Faktörleri ile Merkezi Ağırlık Vektörleri



Etkin alternatiflerin ayrıştırılması için kullanılan güvenilirlik faktörü, karar kriterleri için yapılan değerlendirme ve ölçümlerinin yeterince sağlıklı ve/veya doğru olup olmadığı göstermektedir. Güvenilirlik faktörü için tüm karar alternatiflerinin sıralanmasının, yani Güzergâh-2'nin birinci, Güzergâh-3'ün ikinci ve Güzergâh-1'in üçüncü olması durumunun güvenilirlik oranı % 100'dür. Alternatif güzergâhların merkezi ağırlık vektörüne bakıldığında tüm alternatif güzergâhlar için kaza sayısı kriterinin yüksek görece öneme sahip olduğu görülmektedir. Daha açık bir ifadeyle bu kriter TMT kapsamında güzergâh seçimi problemi için her bir alternatif güzergâhın ilgili sıralarda seçilmesine en çok etkiye sahip kriterdir.

Adım 6: Erzurum-Gaziantep illeri arasında TMT için alternatif güzergâhlar arasında en yüksek sıra kabul edilebilirlik değerine sahip olan güzergâh, Gaziantep-Malatya-Erzurum (Güzergâh-2) güzergâhı olarak belirlenmiştir. Bu nedenle TMT için en uygun güzergâhın Güzergâh-2 olmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. İkinci bir güzergâh kullanılmasının gündeme gelmesi durumunda ise Gaziantep-Diyarbakır-Erzurum (Güzergâh-3) güzergâhının seçilmesi yerinde bir karar olacaktır. Güvenilirlik faktörü ve merkezi ağırlık vektörleri de incelendiğinde alternatif iller için belirlenen sıraların bu ayırt edici ölçeklerce de desteklendiği görülmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

TMT güzergâh seçimi problemi stokastik, belirsiz ve kesin olmayan değerlere sahip kriterler barındırdığından bu çalışmada Gaziantep ile Erzurum illeri arasında tehlikeli madde taşımacılığı yapan bir firmanın yetkilileriyle yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilerek SMAA-2 yöntemi kullanılmıştır. Çözüm sonuçlarının elde edilmesi için çalışmada JSMAA yazılımından istifade edilmiştir.

SMAA-2 yöntemi hem karar kriterlerinin kesin değerlerinin, hem de kesin ağırlık değerlerinin belirlenemediği, ayrıca karar vericiler/uzmanlardan çeşitli nedenlerle kesin değerlendirmelerinin temin edilemediği ÇKKV problemleri için önerilmiştir. Yöntem, grup karar verme esaslarına uygun olarak hem alternatiflerin kriterler açısından aldığı tercih değerleri hem de kriter ağırlık değerlerinin olasılıklı ve aralık değer olarak ifade edilebilmesine imkan tanımaktadır.

Belirsizliğin ve öngörülemezliğin yoğun olduğu TMT planlamalarında karar vericiler yoğun risk ortamında kararlarının etki ve yerindeliğini düşünülerek rahatça karar veremezler. SMAA yöntemi de bu tür karar problemleri için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde uzmanlar, alternatifler arasından en iyisini sunmak yerine, hangi alternatiflerin ne oranda seçilebilir olduğu bilgisini karar vericilere sunarlar. En son karar, karar verici tarafından alınır. Bu nedenle TMT güzergâh seçimi problemi için SMAA-2 yönteminin uygun bir ÇKKV metodu olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda Erzurum-Gaziantep illeri arasında TMT için alternatif güzergâhlar arasında en yüksek sıra kabul edilebilirlik değerine sahip olan güzergâh, Gaziantep-Malatya-Erzurum (Güzergâh-2) güzergâhı olarak belirlenmiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda TMT güzergâh seçimi problemi için farklı yöntemler kullanılarak aynı verilerle karşılaştırmalı bir analiz yapılabilir. Benzer şekilde kullanılan kriterlerde çeşitliliğe gidilerek kriterlerin probleme etkisi incelenebilir.

Kaynakça

- Akçetin, E. (2013). *Tehlikeli Madde Lojistiğinde Risk Yönetimi*. İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım.
- Alumur, S., & Kara, B. Y. (2007). A new model for the hazardous waste location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 34(5), 1406-1423.
- Bahramian, Z., & Bagheri, G. (2017). An approach for road, railway, pipeline routing problem in hazardous materials transportation using multiple criteria. *4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, (pp. 1088-1092), August 8-10, 2017, Banff, Canada.
- Bell, M.G.H. (2007). Mixed routing strategies for hazardous materials: decision-making under complete uncertainty. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1(2), 133-142.
- BMAEK, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, (2007). Tehlikeli Malların Karayolu İle Taşınmasına İlişkin Avrupa Anlaşması (ADR), Cenevre.

- Bonvicini, S., & Spadoni, G. (2008). A hazmat multi-commodity routing model satisfying risk criteria: A case study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(4), 345-358.
- Bronfman, A., Marianov, V., Paredes-Belmar, G., & Lüer-Villagra, A. (2015). The maximin HAZMAT routing problem. *European Journal of Operational Research*, 241(1), 15-27.
- Bula, G. A., Prodhon, C., Gonzalez, F. A., Afsar, H. M., & Velasco, N. (2017). Variable neighborhood search to solve the vehicle routing problem for hazardous materials transportation. *Journal of Hazardous Materials*, 324, 472-480.
- Caramia, M., Giordani, S., & Iovanella, A. (2009). On the selection of k routes in multiobjective hazmat route planning. *IMA Journal of Management Mathematics*, 21(3), 239-251.
- Carotenuto, P., Giordani, S., Ricciardelli, S., & Rismondo, S. (2007). A tabu search approach for scheduling hazmat shipments. *Computers & Operations Research*, 34(5), 1328-1350.
- Chakrabarti, U. K., & Parikh, J. K. (2013). Risk-based route evaluation against country-specific criteria of risk tolerability for hazmat transportation through Indian State Highways. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(4), 723-736.
- Dadkar, Y., Jones, D., & Nozick, L. (2008). Identifying geographically diverse routes for the transportation of hazardous materials. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3), 333-349.
- Dadkar, Y., Nozick, L., & Jones, D. (2010). Optimizing facility use restrictions for the movement of hazardous materials. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(2), 267-281.
- Daimonlogistics. (2017). Tehlikeli Madde Lojistiği. (Erişim: 02.01.2018), <http://daimonlogistics.com/26-tehlikeli-madde-tasimaciligi/>.
- Das, A., Mazumder, T. N., & Gupta, A. K. (2012). Pareto frontier analyses based decision making tool for transportation of hazardous waste. *Journal of Hazardous Materials*, 227, 341-352.
- Demirdöğen, O., Erdal, H., Yazıcılar, F.G. & Aykol, S. (2017). Disaster Logistics Facility Location Problem: An Application For TRA1 Region, *The International New Issues in Social Sciences*, 5(5), 323-342.
- Desai, S., & Lim, G. J. (2013). Solution time reduction techniques of a stochastic dynamic programming approach for hazardous material route selection problem. *Computers & Industrial Engineering*, 65(4), 634-645.
- Erkut, E., & Alp, O. (2007). Integrated Routing and Scheduling of Hazmat Trucks with Stops En Route. *Transportation Science*, 41(1), 107-122.
- Erkut, E., Tjandra, S. A., & Verter, V. (2007). Hazardous materials transportation. *Handbooks In Operations Research And Management Science*, 14, 539-621.
- Faghieh-Roohi, S., Ong, Y. S., Asian, S., & Zhang, A. N. (2016). Dynamic conditional value-at-risk model for routing and scheduling of hazardous material transportation networks. *Annals of Operations Research*, 247(2), 715-734.
- Garrido, R. A., & Bronfman, A. C. (2016). Equity and social acceptability in multiple hazardous materials routing through urban areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 102, 244-260.
- Glickman, T. S., Erkut, E., & Zschocke, M. S. (2007). The cost and risk impacts of rerouting railroad shipments of hazardous materials. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 1015-1025.
- Hosseini, S. D., & Verma, M. (2017). A Value-at-Risk (VAR) approach to routing rail hazmat shipments. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 191-211.
- Huang, B. (2006). GIS-based route planning for hazardous material transportation. *Journal of Environmental Informatics*, 8(1), 49-57.
- Karabulut, S., & Öcalır-Akünel, E. V. (2015). Karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığı için coğrafi bilgi sistemi destekli çevresel risk analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(3), 351-359.
- Kang, Y., Batta, R., & Kwon, C. (2014). Generalized route planning model for hazardous material transportation with VaR and equity considerations. *Computers & Operations Research*, 43, 237-247.
- KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü. (2010). 2010 Trafik ve Ulaşım Bilgileri. (Erişim: 17.09.2017), <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/TrafikveUlasimBilgileri/10TrafikUlasimBilgileri%20.pdf>.
- Lahdelma R., Hokkanen J., & Salminen P. (1998). SMAA-stochastic multiobjective acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 106, 137-143.
- Lahdelma, R., & Salminen, P. (2001). SMAA-2: Stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making. *Operations Research*, 49(3), 444-454.
- Li, R., & Leung, Y. (2011). Multi-objective route planning for dangerous goods using compromise programming. *Journal of Geographical Systems*, 13(3), 249-271.
- Mahmoudabadi, A., & Seyedhosseini, S. M. (2014). Developing a chaotic pattern of dynamic Hazmat routing problem. *IATSS Research*, 37(2), 110-118.
- OSHA, Occupational Safety and Health Administration. (2017). (Erişim:14.08.2017), <http://www.osha.gov>.
- MEB, Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Tehlikeli Madde Taşımacılığı Modülü*, Ankara.
- Murat, Ş., & Kulak, O. (2005). Ulaşım ağlarında bilgi aksiyomu kullanılarak güzergâh (rota) seçimi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 425-435.

- PHMSA, United States Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration. Hazmat Intelligence Portal. (Erişim: 03.01.2018.), <https://hip.phmsa.dot.gov/analytics/saw.dll>.
- Szeto, W.Y., Farahani, R. Z., & Sumalee, A. (2017). Link-based multi-class hazmat routing-scheduling problem: A multiple demon approach. *European Journal of Operational Research*, 261(1), 337-354.
- Tervonen, T. (2014). JSMAA: Open source software for SMAA computations. *International Journal of Systems Science*, 45(1), 69-81.
- Tervonen, T., & Lahdelma, R., (2007). Implementing Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 500-513.
- Ulaştırma Bakanlığı. (2008). Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik. 15.06.2008 tarih ve 26907 Sayılı Resmi Gazete (1. Değişiklik).
- Verma, M., Verter, V., & Zufferey, N. (2012). A bi-objective model for planning and managing rail-truck intermodal transportation of hazardous materials. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 132-149.
- Yılmaz, Z., Erol, S., & Aplak, H.S. (2016). Transportation of hazardous materials (hazmat) a literature survey. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(1), 39-63.