



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 30, Sayı (Issue): 2, Mart/March-2014

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığında güvenlik önlemleri: manifoldlu tüp demetleri

Emrah KORKMAZ¹, Dr. Mesut Cemil İŞLER^{1*}, Abdurrahman AKMAN¹

¹İş Teftiş Kurulu Başkanlığı İnönü Bulvarı No:42 Çankaya/ANKARA

*İlgili Yazar

ÖZET

Anahtar Kelimeler:
Taşımacılık, Tehlikeli Madde, İş Sağlığı ve Güvenliği, Tüp Demetleri.

Hızla gelişen sanayileşme ile tehlikeli maddelerin yaygın olarak kullanımı, bu maddelerin bir noktadan diğerine taşınmasını hızla arttırmaktadır. Tehlikeli maddeler, başta karayolu olmak üzere çeşitli yollarla taşınmaktadır. Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sırasında can ve mal kaybı ile çevre felaketleri gibi önemli riskler ortaya çıkmaktadır. Taşımalar sırasında oluşan risklerin en düşük seviyeye indirilmesi için tehlikeli maddelerin taşınma şartları çeşitli konvansiyonlar ve uluslararası anlaşmalarla bir düzene bağlanmıştır. Ayrıca tasarım, üretim, etiketleme ve testleri ile ilgili gereksinimleri düzenleyen standartlar mevcuttur. Bu çalışmada tehlikeli madde taşımacılığında oluşabilecek riskleri azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak için alınması gerekli güvenlik tedbirleri manifoldlu tüp demetleri özelinde ele alınmış ve literatür araştırmasına da yer verilerek bu konuda değerlendirmeler yapılmıştır.

ABSTRACT

Key Words:
Logistics, Hazardous Materials, Occupational Health and Safety, Cylinder Bundles

With rapidly growing industrialization, extensive use of hazardous substances and the transport of these substances from one location to another are increasing rapidly. Hazardous substances are transported in various ways, including particularly the highway. The major risks come out during the transportation of hazardous substances by road, such as loss of life and property and environmental disasters. Conditions of transportation of hazardous substances linked to an order by a variety of conventions and international agreements to reduce risks to the lowest level that occurs during transportation. Also standards are available for arranging requirements of design, production, labeling and tests. In this study, safety precautions, which required to reduce and/or remove potential risks in transportation of hazardous materials, were addressed by considering the case of cylinder bundles and evaluated also by giving place to literature survey.

1. Giriş

Dünya üzerinde hızla artan sanayileşme, tehlikeli maddelerin yaygın olarak kullanımını ve bu maddelerin bir noktadan diğerine taşınmasını arttırmıştır. Tehlikeli maddeler, başta karayolu olmak üzere çeşitli yollarla taşınmaktadır. Bu taşımalar sırasında çeşitli problemler yaşanabilmektedir. Bu problemlerin en önemlileri can ve mal kayıpları ile çevre felaketleridir. Ayrıca tehlikeli maddeler, ani etkilerinin dışında oldukça yavaş ve yıllar sonra ortaya çıkabilecek etkileri nedeniyle de olumsuz sonuçlara yol açabilirler. Yani, zehirli, yanıcı ya da aşındırıcı maddeler hemen her gün nüfusun yoğun olduğu endüstrileşmiş kentlerden, geçiş yolları üzerinde bulunan küçük kentlere kadar birçok yaşam alanını tehdit etmektedir[1].

Tehlikeli maddelerin taşınması ve depolanması kaynaklı sosyal, ekonomik ve çevresel riskler çeşitli boyutlarda gerçekleşmekte, ancak büyük felaketler sonrasında kamuoyunun dikkatini çekebilmektedir. Taşımalar sırasında oluşan risklerin en düşük seviyeye indirilmesi için tehlikeli maddelerin taşınma şartları çeşitli konvansiyonlar ve uluslararası anlaşmalarla bir düzene bağlanmıştır. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrası gelişen karayolu taşımacılığı, tehlikeli malların karayollarında uluslararası taşınmasının da belli esaslara bağlanması ihtiyacını doğurmuştur. Tehlikeli Malların Karayoluyla Uluslararası Taşınmasına İlişkin Avrupa Anlaşması (European Agreement Concerning The International Carriage Of Dangerous Goods By Road-ADR) Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu tarafından düzenlenmiş, 30 Eylül 1957 tarihinde Cenevre’de imzalanarak 29 Ocak 1968 tarihinde de yürürlüğe girmiştir. Anlaşmanın son hali yapılan bir dizi değişiklikler sonrasında Ocak 2011’de güncellenerek uygulamaya sokulmuştur[2].

ADR anlaşması, belli istisnalar dışında bu anlaşmanın gereklerinin yerine getirilmesi koşuluyla, karayolu araçlarıyla uluslararası tehlikeli mal taşımacılığının yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Söz konusu anlaşmaya, günümüzde aralarında Türkiye’nin de bulunduğu 47 ülke taraf olmuştur. Ülkemiz “Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığın İlişkin Avrupa Anlaşmasına Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair Kanun” (Kanun No. 5434, Kabul Tarihi:30.11.2005, Resmi Gazete:06 Aralık 2005, Sayı:26015) ile bu uluslararası anlaşmaya taraf olmuştur. Sözü edilen anlaşmanın uygulama hükümlerini içeren “Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik” 2007 yılında çıkarılmasına rağmen henüz tam anlamıyla yürürlüğe girmemiş olup, 2014 yılı itibarıyla bütün hükümlerinin yürürlükte olması öngörülmektedir[2].

Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Uluslararası Taşınmasına ilişkin Avrupa Anlaşması (ADR) incelendiğinde, karayolunda taşınmakta olan birçok tehlikeli kimyasal maddenin var olduğu ve bu maddelerin taşınması sırasında uyulacak kuralların ve alınması gereken önlemlerin belirlenmesi için, öncelikle maddelerin içerdiği tehlikelere göre sınıflandırılmalarının gerektiği anlaşılmaktadır.

Bu bağlamda, ADR’nin 2. bölümünde karayolunda taşınmakta olan tehlikeli maddelerin içerdikleri tehlikelere göre aşağıdaki gibi alt başlıkları ile birlikte 13 sınıfa ayrıldığı ve her bir sınıf için alınması gereken önlemlerin gruplandırıldığı görülmektedir[3]:

Sınıf 1. Patlayıcı Maddeler

Sınıf 2. Gazlar

Sınıf 3. Yanabilen Sıvılar

Sınıf 4.1. Yanıcı Katı Maddeler

Sınıf 4.2. Kendi Kendine Yanabilen Maddeler

Sınıf 4.3. Su ile Temasında Yanıcı Gazlar Açığa Çıkaran Maddeler

Sınıf 5.1. Oksitleyici Maddeler

Sınıf 5.2. Organik Peroksitler

Sınıf 6.1. Zehirli Maddeler

Sınıf 6.2. Bulaşıcı Özelliği Olan Maddeler

Sınıf 7. Radyoaktif Maddeler

Sınıf 8. Aşındırıcı Maddeler

Sınıf 9. Çeşitli Tehlikeli Maddeler

Endüstriyel gazlar karayolu ile taşınan en önemli tehlikeli maddelerden bazılarıdır. Ülkemizde sanayinin gelişmesine bağlı olarak artan endüstriyel gaz talebi, bu gazların üretildiği yerden tüketileceği yere kadar taşınması risklerini de beraberinde getirmiştir.

Bazı sanayi uygulamalarında tekli gaz tüpleri işletmelerin gaz ihtiyacını karşılamaktan uzak kalmaktadır. Bu amaçla birden fazla gaz tüpleri montajlanarak büyük hacimlerde tek bir ünite haline getirilebilmektedir. Bu şekilde birden fazla tüple oluşturulan yapı manifoldlu tüp demeti olarak bilinir ve kara taşımacılığında gittikçe artan öneme sahiptir.

Bu çalışmada karayollarında tehlikeli madde taşımacılığında güvenlik önlemleri, manifoldlu tüp demetleri özelinde ele alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

2. TEMEL KAVRAMLAR

Tehlike tanımı sıkça karşılaşılan ve genellikle sözlüklerde kesin tanımına yer verilmeyen veya risk terimi ile karıştırılan bir kavramdır. Türk Dil Kurumu’nun kayıtlarında tehlike iki şekilde tanımlanmıştır: Bunlardan ilki, tehlikenin büyük zarar veya yok olmaya yol açabilecek durum olduğu, ikincisi ise gerçekleşme olanağı bulunan fakat istenmeyen sakıncalı durum olduğudur[1]. ABD İş Sağlığı Güvenliği İdaresi (OSHA), tehlikeli maddeyi “sağlık tehlikesi” veya “fiziksel tehlike” içeren kanserojenler, zehirli etmenler, tahriş ediciler, aşındırıcılar, hassaslaştırıcılar, hematopoetik sisteme etkiyen etmenler, ciğerleri, deriyi, gözleri veya mukoza membranını etkileyen etmenler, yanıcı, patlayıcı, alevlenebilir, oksitleyici, piroforik maddeler, kararsız reaktifler veya su ile reaktif olanlar ile normal elleçleme, kullanım veya depolama esnasında toz, gaz, duman, sis açığa çıkaran ve daha önce anılan özelliklerden herhangi birine sahip olan kimyasallar olarak tanımlamıştır[4].

Taşınan malzemeler arasında sağlığı, güvenliği, eşyayı veya çevreyi riske etme yeteneğinde olabilecek maddeler “tehlikeli materyal” adı altında toplanmakta ve taşınması ile ilgili olarak hem ulusal hem de uluslararası özel düzenlemelere ihtiyaç göstermektedir[5].

Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınmasını düzenlemeye yönelik girişimlerin 1950'li yıllarda Fransa'nın önderliği ile başladığı ve bugün ADR olarak anılan Uluslararası Karayollarında Tehlikeli Maddelerin Taşınmasına Dair Avrupa Anlaşmasının da Fransa'nın bu konudaki endişelerini komşu ülkeleriyle paylaşması sonucu doğduğu bilinmektedir. Ülkemizde ise tehlikeli madde taşımacılığına ilişkin yasal düzenlemelerin tam anlamıyla yürürlükte olmaması nedeniyle uygulamada sıkıntılar yaşanmaktadır. Herhangi bir kayıt ve kontrol işleminin de yapılmıyor olması, geçiş sürecinde olduğumuz bu günlerde taşıyıcı firmalar ve şoförler ile acil müdahale ekipleri ve konunun diğer paydaşı olan halk için belirsizliğini korumaya devam etmektedir[1].

EN 13769 uluslararası standardında yapılan tanımlamalara göre[6]:

İki veya daha fazla tüpün bir metal kafes içerisine yerleştirilmesi suretiyle, manifold sistemi (fitting, vana ve boru bağlantıları) ile birbirleriyle irtibatlandırılarak oluşturulan taşınabilir yapılar manifoldlu tüp demetleri denir. Tüp demetlerinin taşınabilirliğini ve manifold, vana ve tüp demetlerinin korunaklılığını sağlamak amacıyla oluşturulan metal yapı, metal kafes olarak adlandırılmaktadır.

Tüp demetlerini ana vanaya veya tüpleri irtibat noktalarına bağlayan sisteme manifold denir.



Resim 1: Manifoldlu Tüp Demeti

Taşıma için basınç altında paketlenmiş, -50°C ve daha az sıcaklıktaki tümüyle gaz fazında bulunan gazlar sıkıştırılmış gaz (Compressed gas) olarak isimlendirilir.

Taşıma için basınç altında paketlenmiş -50°C üstündeki sıcaklıklarda sıvılaştıran gazlar, -50°C ve $+65^{\circ}\text{C}$ arasındaki kritik sıcaklıklarda sıvılaşıyor ise yüksek basınçlı sıvılaştırılmış gaz (high pressure Liquid gas), $+65^{\circ}\text{C}$ üzerindeki kritik sıcaklıklarda sıvılaşıyor ise düşük basınçlı sıvılaştırılmış gaz (low pressure Liquid gas) denir.

Taşıma için basınç altında paketlenildiğinde sıvı fazdaki çözücüde çözülmüş gaza çözülmüş gaz denir.

Boğucu gazlar, oksitleyici, yanıcı ve zehirli olmayan, ancak havada bulunan oksijeni seyrelten veya onunla yer değiştiren gazlardır.

20°C ve 101.3 kPa standart basınçta; %13 veya daha az bir oranda hacimli hava ile karışımında yanıcı olan gazlara yanıcı gazlar denir.

Oksitleyici gazlar, genellikle oksijen sağlayarak diğer maddelerin yanmasına havadan daha çok neden olan veya katkı sağlayan gazlardır.

Solunduğunda veya temasında insan sağlığı üzerinde akut veya kronik hasarlara veya ölüme neden olan gazlara toksik gazlar denir. Başka bir tanımla ise 5000 ml/m^3 (ppm) ye eşit veya daha az bir akut zehirlilik için LC_{50} değerine sahip olan gazlardır.

LC_{50} , solunum yolu ile organizmaya girerek etki gösteren gaz halindeki kimyasal bileşiklerin akut toksisite ölçüsü olup, belirli koşullarda solunum yolu ile bir gruptaki hayvanların %50'sini öldüren kimyasal maddenin solunan havadaki konsantrasyonu olup, birimi ppm veya ml/m^3 'tür.

Canlı doku ile temasında, dokunun tahribatına neden olabilen gazlar aşındırıcı gazlar olarak tanımlanır.

3. TÜRKİYE'DE TEHLİKELİ YÜK TAŞIYICILIĞI MEVZUATI

Karayollarında tehlikeli maddelerin taşınması ile ilgili mevzuatımız söz konusu olduğunda; hem karayollarıyla, hem de tehlikeli maddelerle ilgili düzenlemeleri dikkate almak gerekmektedir.

Karayolları Trafik Yönetmeliğinin "Tehlikeli Maddelerin Taşınması" alt başlıklı 132 nci maddesinde; fiziksel ve kimyasal yapı ve nitelikleri bakımından patlayıcı, yanıcı, yakıcı, kendi kendine veya kolayca ateş alıcı zehirli ve radyoaktif yükler ile bunların benzerleri tehlikeli yük olarak sayılmış ve trafik güvenliğini sağlamak üzere bunları taşıyan ve taşıyanların uymaları gerekli usul, esas ve şartlar belirtilmiştir. Buna göre tehlikeli yüklerin; yüklenmesi, boşaltılması ve taşınmaları sırasında ilgili mevzuat hükümlerinin yerine getirilmesi yanında, trafik güvenliğini sağlamak üzere bunları taşıyan ve taşıyanların aşağıdaki esas, usul ve şartlara uymaları zorunludur[2]:

- Niteliklerine göre tehlikesizce taşınması için gerekli şekilde ambalajlanmış olacaktır.
- Ambalajların bozulmaması, patlayıcı madde bulunan kapların sarsılmaması, yüksekten düşürülmemesi, yuvarlanmaması, kaymaması ve sürüklenmemesi için gerekli tedbirler alınacaktır.
- Tehlike yaratacak derecede ambalajı bozulanlar ve zedelenenler yüklenmeyecek, bu durum taşıma sırasında meydana gelecek olursa, ayıklama yapılarak gerekli tedbirler alınmadan yola devam edilmeyecektir.
- Patlayıcı, yanıcı ve yakıcı olanlarla kolayca kendi kendine ateş alan maddelerin yüklenmesi ve boşaltılması sırasında buldukları yere 30 metre mesafe içinde sigara ve benzerleri içilmeyecek, kibrit, çakmak, aydınlatma cihazı ve benzerleri gibi alev ve kıvılcım çıkaran ekipmanlar kullanılmayacak, araçların içine 6 voltu geçen piller dışında aydınlatma cihazlarıyla girilmeyecektir.
- Tehlikeli yük taşıyan araçlarla ilgili olarak;
 - i. Elektrik donanımları kısa devre, kontak yapmayacak ve kıvılcım meydana getirmeyecek şekilde düzenlenmiş ve izole edilmiş olacaktır.
 - ii. Ön ve arka yanlarına kırmızı renkte zemin üzerine boyu yirmi ve çizgi kalınlığı iki buçuk santimetreden az olmayan beyaz renkte "tehlikeli yük" yazısı yazılacak ve ayrıca ön ve arka taraflarına kolayca görülebilen 30x30 santimetreden küçük olmayan kırmızı renkte birer bez asılacaktır.

iii. Sürücünün kolayca kullanabileceği yerde ve her an kullanılabilir durumda belirlenen nitelikte 2 (iki) yangın söndürme cihazı bulundurulacaktır.

iv. Araca başka bir yük alınmayacak, yük sahibi veya hizmetliden başkası bindirilmeyecektir.

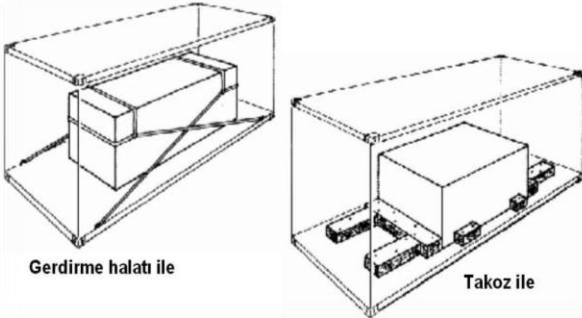
v. Park etme veya duraklama halinde, araç sürücüsü, hizmetli veya bir bekçinin gözetiminde bulundurulacaktır.

vi. Bu araçların sürücüleri; yerleşim birimleri dışındaki karayollarında diğer araçlara en az 50 metre mesafe bırakarak izlemek ve duraklama halinde aralarında 20 metrelik mesafe bulundurmaya zorundadır.

vii. Yükleme ve boşaltma sırasında kalabalık olmayan yer ve uygun zaman seçilecek, motor çalışır durumda bulunmayacak, gerekli güvenlik tedbirleri alınmış olacaktır.



Resim 2: Yüklerin yerleştirilmesi



Resim 3: Yüklerin sabitlenmesi

Konu ile ilgili diğer bir yönetmelik olan; Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 22.10.1976 tarih ve 15742 sayılı Resmî Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren "Tehlikeli Yüklerin Karayoluyla Taşınması Hakkındaki Yönetmelik" çok eski tarihli ve güncel düzenlemelerden uzaktır. Yönetmelikte 09.09.1997 tarih ve 23105 sayılı Resmî Gazetede ile yapılan değişiklikle sadece tehlikeli atık taşıyan firmalara lisans belgesi, taşıma formları, taşıt sürücüsü uluslararası eğitim sertifikası, vb. belgeler bulundurma zorunluluğu getirilmiş, ancak diğer tehlikeli yüklerin taşınması ile ilgili herhangi bir düzenleme yapılmamıştır.

Karayolu Taşıma Kanununa dayanılarak hazırlanan Karayolu Taşıma Yönetmeliğinde (11.09.2009 tarih ve 27255 sayılı Resmî Gazete) amaç "karayolu taşımacılık faaliyetlerini ülke ekonomisinin gerektirdiği şekilde düzenlemek; taşımacılık faaliyetlerinde düzeni ve güvenliği sağlamak; taşımacı, acente, taşıma işleri komisyonculuğu, taşıma işleri organizatörlüğü, nakliyat ambarı işletmeciliği, kargo işletmeciliği, lojistik işletmeciliği, terminal işletmeciliği, dağıtım işletmeciliği ve benzeri taşımacılık faaliyetleri için mali yeterlilik, mesleki yeterlilik, mesleki saygınlık ilkelerine uygun olarak pazara giriş şartları ile bu faaliyetlerde bulunanların, gönderenlerin, yolcuların, çalışanların haklarını, sorumluluklarını, yükümlülüklerini tespit etmek; taşımacılık faaliyetlerinde istihdam edilenler ile taşımacılık faaliyetlerinde yararlanan taşıt, araç, gereç, yapı, tesis ve benzerlerinin niteliklerini belirlemek; karayolu taşımalarının diğer taşıma sistemleriyle birlikte ve birbirlerini tamamlayıcı olarak hizmet vermesini, denetimini ve mevcut imkânların daha yararlı bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır" olarak ifade edilmiştir.

"Karayolunda Tehlikeli Maddelerin Taşınması için Tasarlanan Motorlu Araçlar ve Römorkları ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (98/91/AT)", araçların yapım ve kullanım açısından karayolu yapısına ve trafik güvenliğine uyma zorunluluğunu yerine getirmek üzere; karayolunda tehlikeli maddelerin taşınması için tasarlanan araçlara AT Araç Tip Onayı Belgesi verilmesine ilişkin hükümleri ve bunların uygulanmasına ait usul ve esasları belirlemektedir.

Ülkemiz "Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşmasına Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair Kanun" (Kanun No.5434, Kabul Tarihi:30.11.2005, Resmi Gazete:06.12.2005, Sayı:26015) ile uluslararası ADR anlaşmasına taraf olmuştur. ADR anlaşmasının uygulama hükümleri "Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik" ile düzenlenmiştir.

Tehlikeli maddelerin karayolları üzerinde taşınması, yüklenmesi, boşaltılması, "Tehlikeli Maddelerin Karayolu İle Taşınması Hakkında Yönetmelik" hükümlerine tabidir. Bu yönetmeliğin amacı, tehlikeli maddelerin; insan sağlığı ve diğer canlı varlıklar ile çevreye zarar vermeden güvenli ve düzenli bir şekilde kamuya açık karayoluyla taşınmasını sağlamaktır.

Ayrıca bu faaliyetlerde yer alan gönderenlerin, alıcıların, dolduranların, yükleyenlerin, boşaltanların, ambalajlayanların, taşımacıların ve tehlikeli maddeleri taşıyan her türlü aracın operatör veya sürücülerinin sorumluluk, yükümlülük ve çalışma koşullarını belirlemektir. Bu nedenle yönetmelik, mevzuat içinde uygulamaların diğerlerine oranla daha ayrıntılı bir şekilde belirtilmesi bakımından önemli bir yere sahiptir.

Ancak bu yönetmelik henüz tam anlamıyla yürürlüğe girmemiş olup, 2014 yılı itibariyle bütün hükümlerinin yürürlükte olması öngörülmektedir. ADR anlaşmasının genel yapısı **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

Tablo 1: ADR anlaşmasının genel yapısı[3]

Ek A: Genel hükümler ve tehlikeli madde ve yükler ile ilgili hükümlülükler	
Bölüm 1	Genel hükümler
Bölüm 2	Sınıflandırma
Bölüm 3	Tehlikeli maddelerin listesi, özel hükümler ve sınırlı ve istisna miktarlar ile ilgili muafiyetler
Bölüm 4	Paketleme ve tank hükümleri
Bölüm 5	Sevkiyat işlemleri
Bölüm 6	Ambalajlar, orta boy dökme kaplar (IBC), büyük ambalajlar ve tankların yapı ve testleri için gereklilikler
Bölüm 7	Taşıma, yükleme, boşaltma ve elleçleme ile ilgili hükümler
Ek B: Taşıma ekipmanları ve taşıma işlemleri	
Bölüm 8	Araç personeli, ekipmanları ile işlem ve dokümantasyon
Bölüm 9	Araçların yapısı ve uygunluğu ile ilgili gereklilikler

4. ALINMASI GEREKLİ GÜVENLİK TEDBİRLERİ

Tüp demetleri rutin kaldırma işlemine tabi tutulan bir koruyucu çerçeve, iki veya daha fazla tüpün vana ve gerekli tesisat kullanılarak manifoldla birbirine bağlanması suretiyle taşınabilir bir yapı halini alır. Bu yapı demonte bir hale gelmeden doldurulur, taşınır ve boşaltılır. Bir tüp demeti taşıma ve kullanım işleri sırasında sert ve kaba işlemlere maruz kalabilir.

Eğer manifoldlu gaz tüpleri tekil olarak demonte bir şekilde doldurulacaksa, doldurulacak gazın ilgili standardına göre işlem yapılmalıdır. Böyle bir tekil doldurma işlemi, manifoldlu gaz tüpünün temel tanımına uygun değildir. Ancak bunlar da tüp demetleri olarak bilinmekle beraber bu tür demetler için farklı hükümler uygulanır[6]:

- Tekli tüpler taşıdığı gazla uyumlu olan vana kullanılarak doldurulmalıdır.
- Tekli tüpler EN1089-3'e uygun renk koduna sahip olmalıdır
- Tekli tüpler EN1089-2'ye uygun olarak etiketlenmelidir

Tüpler ağırlıkça dolduruluyor ise; tekli tüpler ISO13769'a göre boş ve maksimum dolu ağırlığı belirtilmelidir.

Başka şekilde belirtilmedikçe manifoldlu tüp demetlerinde kullanılan tekil tüpler aynı zamanda kendi standartlarına da uygun olmak zorundadır.

4.1. Tasarımda Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Tüp demetlerinin tasarımında; üretim, kontrol ve kullanım koşulları dikkate alınmalıdır.

Bu yapıdaki metal kafes olası titreşim, çarpma vb. gibi olumsuz etkiler karşısında tüp demetlerinde oluşabilecek kaçak vb. hasar oluşumunu engellemelidir. Bu korumanın düzeyi manifoldlu tüp demetlerinin yatay, dikey ve dönme hareketlerinde manifoldun ve bağlantı tesisatının aşırı zorlanmalarına karşı koruyacak şekilde olmalıdır. **Resim 4**'te görülmekte olan örnekte manifoldlu tüp demetlerinin dolununun yapıldığı bir petrol tesisinde, metal kafesin taşımalar sırasında yol koşullarına bağlı dış etkilere maruz kalarak, manifold ve bağlantı tesisatları zarar gördüğü fark edilmeden manifoldlu tüp demetleri doldurulmaya başlanmıştır.

Bu sırada dolum yapılan yanıcı gaz zarar gören noktalardan dolum ortamına yüksek basınçta yayılmış, yüzey sıcaklığı ve/veya tutuşma enerjisi varlığıyla beraber alev topuna dönüşerek patlamıştır.

**Resim 4:** Manifoldlu tüp demeti kazasına ilişkin bir fotoğraf

Manifoldlu tüp demetlerinin tasarımında güvenlik açısından dikkat edilmesi gereken diğer hususlar şunlardır[6]:

- ✓ Metal kafesler forklift vb. taşıma araçları ile dolu ağırlığının iki katını taşıyabilir yapıda olmalıdır.
- ✓ Metal kafesi oluşturan yapı elemanları tüp demetinin dolu ağırlığının iki katını dikey olarak kaldıracak şekilde tasarlanmalıdır. Kullanılacak malzemenin tasarım gerilim seviyesi akma geriliminin 0.9'unu aşmamalıdır.
- ✓ Metal kafes tasarımı tehlikeye neden olabilecek çinkıntılar içermemelidir.
- ✓ Metal kafes hiçbir bölgesinde su vb. maddelerle dolarak ağırlığı arttıracak şekilde tasarlanmamalıdır.
- ✓ Tüp demetleri kullanım sırasında stabil durumda olacak şekilde tasarlanmalıdır.
- ✓ Bu metal kafes kapı ve pencere gibi hareketli unsurlar içeriyorsa bunların açma kapama mandalları bulunmalı ve bu mandallar dış etkiye karşı korunaklı olmalıdır.
- ✓ Bütün vanalar acil durumda veya kullanım esnasında kolayca ulaşılabilir şekilde tasarlanmalıdır.
- ✓ Her bir kafes kendisine ait tanımlama numarası ve kalıcı işaret taşımalıdır.
- ✓ Manifoldlarla birbirlerine bağlanmış bir tüp demetinin yapısında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri de, bütün basınçlı parçaların -20 ile +65 °C sıcaklık aralığında ve bu aralığın dışında kalan yerel sıcaklık koşullarında da güvenli çalışacak şekilde dizayn edilmiş olmasıdır.

4.2. Tüplerde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Manifoldlu tüp demetlerinin parçası olan tüpler için güvenlik açısından dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır[6]:

- ✓ Manifoldlu tüp demeti içerisindeki her bir tekil tüp taşıdığı gaza ve standartlarına uygun olmalıdır.
- ✓ Tekil tüplerin boğazına ya tüp vanası ya da bağlantı elemanları bağlanmalıdır. Bunlardan hangisinin bağlanacağına seçimi gazın türü ve tüp demetlerinin kullanım koşullarına göre belirlenmelidir.
- ✓ Vana ve bağlantı elemanları doldurulacak gaz ve bu gazın basıncı ile uyumlu olmalıdır.
- ✓ Vana ve bağlantı elemanları tüplerin boğazıyla uyumlu olmalıdır.
- ✓ Doldurulacak gaz toksik, LC₅₀ değeri 200ppm'den daha az olan gaz karışımı, hava ile temasında aniden tutuşma özelliğine sahip gaz (piroforik gaz) veya içerisinde %1 piroforik gaz içeren gaz karışımı ise her bir tekil tüpe vana bağlanmalıdır. Eğer tüp vanası sürekli açık vaziyette tutulmayacaksa toksik olmayan sıvılaştırılmış gazlar için vana kullanılmamalıdır.
- ✓ Tüp vanaları monte edildiği zaman tüp demeti çıkış bağlantıları yanlış bağlantıları engelleyecek yapıda olmalıdır.

4.3. Manifoldda Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Manifoldlarda güvenlik açısından dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır[6]:

- ✓ Manifold, kullanılan gaz ve tüp demetinin tasarlanan basıncı ile uyumlu olmalıdır. Manifold asgari olarak tasarlanan basınç gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- ✓ Sıkıştırılmış gazlar için tasarım basıncı çalışma basıncının 1.5 katından az olmamalıdır. Sıvılaştırılmış gazlar için tasarım basıncı tüplerin test basıncından az olmamalıdır. Test basıncında manifold malzemesinin maksimum gerilimi akma geriliminin 0.75'ini aşmamalıdır.
- ✓ Manifoldun hiçbir parçası, tüp vana ve bağlantı elemanları ile metal kafes bağlantı noktaları haricinde kalan tüp demetinin diğer yapı elemanlarını taşımamalıdır.
- ✓ Manifoldun yapılacak metal eğme ve bükme gibi hareketlere karşı yeterli esneklikte olmalıdır. Esnek metal olmayan hortumlar veya borular sabit boruların bir parçası olarak kullanılmalıdır. Ayrıca yapılacak testlerden sonucunda uygulanabilirliği kanıtlandıktan sonra ve minimum uzunlukta kullanılmalıdır.
- ✓ Ana bağlantılar gaz ve tüp demetinin tasarlanan basıncı ile uyumlu olmalıdır ve metal kafesle korunmalıdır (çıkıntı olmamalıdır).

4.4. Üretimde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

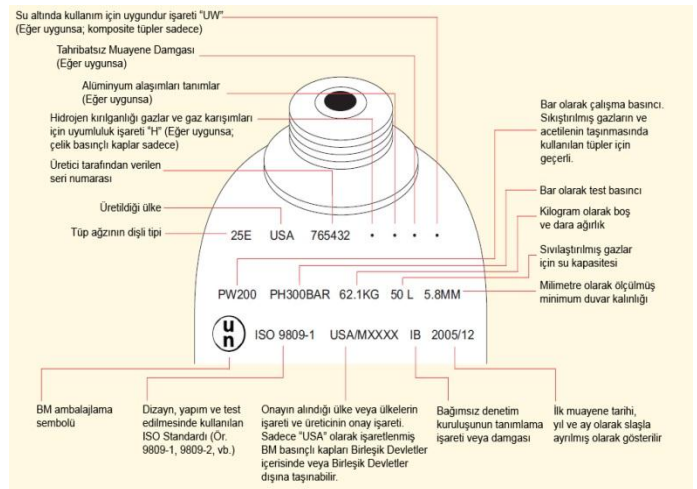
Tüp demetleri EN 288-1, EN287-1, EN13134 ve EN13133 standartlarına uyumlu olarak üretilmelidir[6].

4.5. Etiketleme ve Tehlike Tanımlamaları

Manifoldlu tüp demetlerinin etiketleme ve tehlike tanımlamaları tekil tüplerinkinden farklı olacaktır. Manifoldlu tüp demetlerinin etiketleme ve tehlike tanımları için şu hususlara dikkat edilmelidir[6]:

- ✓ Manifoldlu tüp demetlerinin oluşumunda kullanılan metal kafes tüplerin omuz hizasındaki görünümü engellediği için tekil tüpler için uygulanan etiketleme gereksinimi (EN1089-2 ve EN1089-3) dikkate alınmamalıdır.
- ✓ Manifoldlu tüp demetlerindeki uyarı etiketleri 10 cm'den küçük olmayacak şekilde taşıma kurallarına uygun olarak ana bağliya en yakın metal kafes üzerinde EN1089-2'ye uygun olarak yerleştirilmelidir. EN1089-3'te tanımlanan tüplerin renk kodları manifold grubu için zorunlu değildir.
- ✓ Manifoldlu tüp demetleri dolumu için sertifika, kullanım ve imalat bilgilerini içeren şekilde etiketler bulunmalıdır. Bu etiketler imalat bilgileri en üst bölümde, test ve çalışma basıncını içeren bilgiler orta bölümde ve sertifikasyon bilgilerini içeren kısım en alt bölümde 5mm'den küçük olmayacak boyutta gruplandırılmalıdır. Ayrıca üreticinin ismi, dolum istasyonu, kg cinsinden brüt ağırlığı ve kritik çalışma talimatlarını da içeren bilgiler minimum 30mm yüksekliğindeki yazılarla belirtilmelidir.

Birleşmiş Milletler onay damgasına sahip bir tüpün etiketlenmesi ve sembollerin ifade ettiği tanımlar Şekil 1'de gösterilmiştir[7]:



Şekil 1: Birleşmiş Milletler onay damgalı tüplerdeki işaretlemeler ve anlamları.

4.6. Testler

Manifoldlu tüp demetleri için yapılacak testlerde şu hususlara dikkat edilmelidir[6]:

- ✓ Manifoldlu tüp demetlerinin tasarım, çizim, tasarım hesaplamaları ve prototipi de içeren tüm süreçler yetkili bir kuruluş tarafından kontrol edilmelidir.
- ✓ Metal kafesin yukarıda belirtilen tasarım kriterleri de dikkate alınarak tüm yapısal parçaları EN1290 ve EN1291 standartlarına uyumlu olarak mukavemet açısından test edilmelidir.
- ✓ Manifold yukarıda belirtilen tasarım kriterlerine uygun basınçla test edilmelidir. Pnömatik sızdırmazlık testi maksimum çalışma basıncında yağsız kuru hava ve nitrojen kullanılarak yapılmalıdır. Şartlar uygunsa, pnömatik sızdırmazlık testi yerine hidrolik test tercih edilmelidir.
- ✓ Tüp demeti tasarım kriterlerine uygunluk yönünden gözle kontrol edilmelidir. Manifoldun vanalara ve tüplere bağlantı noktaları, manifold ya da vana çıkışları tüp demeti için izin verilen maksimum işletme basıncında sızdırmazlık testine tabi tutulmalıdır. Etiketlerin, işaretlerin ve plakaların tanımlama kriterlerine uygunluğu kontrol edilmelidir.
- ✓ Tüp demetlerinin stabilitesi, hesaplama veya fiziksel (prototip üzerinden) test yardımıyla ortaya konulmalıdır.
- ✓ Fiziksel test için; katı bir yüzey üzerinde iki tip düşme testi şu şekilde gerçekleştirilmelidir. Bu düşme testleri için aynı tüp demeti kullanılabilir. İlk önce test için, tüp demeti minimum 5 bar'da inert gazla doldurulur, daha sonra brüt ağırlığına gelene kadar üzeri su ile doldurularak taşıma sırsındaki koşullara getirilir.
- ✓ Birinci tip düşme testi (dikey düşme) için; manifoldlu tüp demeti düşey konumda 0.1m yükseklikten minimum 5° eğimle yüzeye bırakılır. Diğer tip düşme testi (dönerek düşme) için; manifoldlu tüp demeti 1.2 m yükseklikten baş üstü gelecek şekilde zemine döndürülerek düşürülür. Manifoldlu tüp demeti bu testler sonucunda forklift ve benzeri kaldırma aracı ile sorunsuzca taşınabiliyor, tüpler ve diğer parçalar kabul edilebilir durumda ve herhangi bir sızıntı yok ise bu durumda düşme testlerinden başarıyla geçmiş olur.

5. Literatürdeki çalışmalara genel bir bakış

Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması konulu araştırmalar incelendiğinde bu çalışmaların 1970'li yıllara dayandığı, genellikle kaza istatistikleri ve yorumlanması, risk analizleri, rota tayini ve karar verme konularında yoğunlaştığı görülmektedir.

Ancak literatürde manifoldlu tüp demetleri özelinde bir çalışma bulunmamakla beraber; manifoldlu tüp demetlerinin tasarım, üretim, etiketleme ve testleri ile ilgili gereksinimleri düzenleyen (EN13769) uluslararası bir standart mevcuttur. Bu bölümde, yapılan bazı çalışmaların kısa özetlerine yer verilmiştir[1].

Cassini (1998), riskleri en aza indirmek için “şehir içi yolları mı, yoksa nüfusun daha az yoğun olduğu daha uzun yolları mı tercih etmek gerekir?” sorusuna yanıt aramıştır. Nicel bir risk analizi yöntemi önerilerek olabilecek kaza senaryoları ve gerçekleşme olasılıkları ile olası sonuçların hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir.

Bu yöntemde bölgedeki nüfus yoğunluğu, araç trafiği ve öngörülen rotalar, tehlikeli madde trafiği, meteorolojik veriler, rota üzerindeki tünellerin tasarımı gibi birçok veri dikkate alınmış ve on farklı senaryo tanımlanmıştır. Her bir durum için f-N eğrileri çizilerek bireysel ve toplumsal risk hesaplanmıştır. Eğriler yardımıyla rota seçimi yapılabileceği, ancak eğrilerin kesişmesi ve matematiksel beklentilerinin birbirine yaklaşması halinde karar vermede yardımcı olamayacağı belirtilmiştir[8].

Leonelli vd. (2000), risk analizinde birçok risk göstergesinin (indeks) geliştirildiğini ve bunlar arasında “bireysel risk” ve özellikle f-N eğrileriyle başarılı bir şekilde temsil edilen toplumsal riskin de bulunduğunu belirtmiştir. Bireysel riskin, etkilenen alanın sabit bir noktasında koruyucu cihazlar olmaksızın sürekli olarak bulunan bireylerin yıllık ortalama ölüm sıklığını temsil ettiği belirtilmiştir. Toplumsal riskin bir ölçüsü olan f-N eğrilerinin ise, bir kazanın “N” ya da daha fazla ölü ile “f” birikimli sıklığına sahip olarak gerçekleşmesi durumunu ifade ettiği kaydedilmiştir[9].

Fabiano vd. (2002), tehlikeli maddelerin taşınmasında risk değerlendirmesi ve tehlikeli maddelerin taşımacılığı için bir çerçeve yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmada, İtalya Ulusal İstatistik Enstitüsü (ISTAT) verilerinden yararlanmıştır. Belirli bir rota üzerinde gerçekçi bir sıklık hesabı için tüneller, demiryolu geçitleri, eğim ve meteorolojik koşullar gibi doğal etkenlerin yanı sıra, trafik koşulları ile ilgili etmenlerin de dikkate alınması gerektiği belirtilmiş ve her bir etmen için belirli bir katsayı belirlenmiştir.

Seçilen karayolunun her bir bölümü için trafik yoğunluğu, kaza sıklığı ve uzunluk dikkate alınmış, seçilen yol üzerinde farklı araçların ortalama hızları göz önünde bulundurulmuş ve günün farklı zaman dilimlerine ait kaza verileri ile ADR araçlarına ait kaza verileri karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Önerilen yöntem pilot bir bölgeye uygulanmış ve alevlenebilir ve patlayıcı maddeler içeren senaryolar referans alınarak bireysel ve toplumsal riskler hesaplanmıştır. Geliştirilen modelin sadece taşımacılık risklerinin tahmininde değil, risklerin indirgenmesi için yöntem belirlemede ve acil durum yönetiminde de kullanılabileceği ifade edilmiştir[10].

Kara vd. (2003), tehlikeli kimyasalların taşınması için iki rota seçme algoritması (sonlu işlem sırası) önermiştir. Önerilen yaklaşımın literatürde yaygın olarak kullanılan standart en kısa yol sonlu işlem sırasına göre üstünlükleri olduğu ifade edilmiş, en kısa yol sonlu işlem sırasında her bir taşıma bağlantısının dirençlerinin (empedans) bilinmesi ve diğer bağlantıların dirençlerinin de bağımsız olması gerektiği ve tehlikeli madde taşımacılığı probleminin bu yöntemle çözümünün birtakım basitleştirmeler yapmayı gerektirdiği, ancak mevcut çalışma ile bu gerekliliğinin çürütüldüğü ifade edilmiştir. Bu çalışmada, en kısa yol sonlu işlem sırasının iyileştirilmiş bir türü ve bağlantı etiketleme (link labeling) işlem sırasının bir uyarlaması yapılmıştır[11].

Bubbico vd. (2004a), tehlikeli maddelerin karayolu ve demiryolu ile taşınması için basitleştirilmiş bir risk analizi yaklaşımı önermiştir. Değişkenler rotaya bağımlı ve rotadan bağımsız olmak üzere iki şekilde incelenmiştir. Rotadan bağımsız değişkenlerin verilerin istatistiksel analizi ile elde edilebileceği ifade edilmiş, senaryolar ve bu senaryoların bir kazayı izleyerek gerçekleşme olasılığı, başlatıcı olay, taşıma ekipmanlarının özellikleri, saçılma miktarları ve ürünün özellikleri gibi bilgiler bu başlık altında sınıflandırılmıştır. Diğer yandan, kaza oranları, meteorolojik koşullar, risk altındaki nüfus ve yol koşulları da rotaya bağımlı değişkenler olarak belirlenmiştir. Oluşturulan senaryolara göre jet yangını, havuz yangını ve zehirli bulut gibi her bir durumun çıktısı dikkate alınarak etki alanları belirlenmiş ve bu alanlardaki kitle için tahmini mağdur sayısı hesaplanmıştır. Yöntemin uzman olmayan kişilerce hızlı risk analizi yapılmasına olanak sağlayacağı ve bireysel ve toplumsal risk hesabında kullanılabilmesi belirtilmiştir. Sonuçların karar verme süreçlerinde veya daha detaylı çalışmalarda temel olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir[12].

Bubbico vd. (2004b), tehlikeli maddelerin karayolu ve demiryolu taşımacılığı için coğrafi bilgi sisteminin kullanımına dayanan bir risk analizi yöntemi önermiştir. Bu yaklaşımın risk analizini etkileyen nüfus, kaza oranı, rota boyunca hava koşulları gibi kolaylıkla güncellenebilecek bölgesel verileri eksiksiz bir şekilde hesaba kattığı belirtilmiştir. Risk değerlendirme aracı olarak ele alındığında, yöntemin rota belirlemede yardımcı olacağı ve tekli ya da çoklu taşımacılıkta hızlı bir şekilde doğru risk analizi yapmaya olanak sağlayacağı belirtilmiştir. Yöntemde kullanılan bölgesel veriler kaza oranı, rota üzerindeki trafik yoğunluğu ve yerleşim yerlerindeki nüfus yoğunluğu ile en düşük, ortalama ve en yüksek sıcaklık verileri, rüzgâr hızı ve yönü, endüstriyel tesislerin ve acil durum merkezlerinin konumu olarak sıralanabilir. Yöntem, tüm mevsimler ve rota bölümleri için tekrarlanarak bireysel ve toplumsal risk değerleri elde edilmiştir. Yöntemin kara, demiryolu ve karma taşımacılıkta risk değerlendirme olanağı verdiği ve hızlı bir yöntem olduğu gibi, rota seçme olanağı sunduğu da belirtilmiş ancak uygulamada detaylı bölgesel bilgilere gereksinim duyulacağı ifade edilmiştir[13]. Kazaların türü, sayısı, etkilenen sayısı, kaza nedenleri, sağlık etkileri araştırılmıştır. Olaylar sırasında 1.164 kimyasalın açığa çıktığını, 63 kişinin yaralandığını ve olayların genellikle solunum sisteminde tahrişe neden olduğunu belirlemişlerdir.

Sabit tesislerde meydana gelen kazalarda daha fazla etkilenen olmasına rağmen taşımacılıkla ilgili olaylardan zarar görme olasılığının daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Karayolunda meydana gelen kazaların diğer taşımacılık türlerine oranla daha yüksek olduğu belirtilmiştir[14].

Fabiano vd. (2005); çalışmalarında tehlikeli malzeme taşınmasından kaynaklı riskleri değerlendirilerek acil durum planlaması ve optimizasyonu için teorik yaklaşım geliştirmişlerdir. Bunun için ilkönce seçilen bir karayolu için veriler toplanmış ve çok değişkenli istatistiki analiz yapılabilen veritabanı geliştirilmiştir. Araştırmacılar, çalışmalarında içsel (tünel vb.), meteorolojik ve trafik faktörleri dikkate almışlardır. Seçilen pilot yol için, rota özelliklerine ve nüfusa duyarlı bir risk değerlendirmesi uygulamışlardır. Bu pilot yol için risk kabul edilebilirlik seviyeleri tespit edilerek, acil eylem planı için hız ve güvenilirlik unsurlarını içeren yerleştirme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan yöntem teknik, ekonomik optimizasyon ve müdahale süresinin kısaltılması gibi kriterlerin seçimine imkan vermektedir. Bu çalışmanın sonucunda, risk düzeyinin azaltılması için acil durum yönetiminin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca tehlikeli malzeme taşınmasına belli saatler arasında izin verilmesi (örneğin; 20:00-01:00 saatleri arası), risk azaltımı için alternatif taşıma ağları oluşturulması ve acil eylem planlaması yapılması ve müdahale süresini kısaltıcı tedbirler alınması gibi bir takım önerilerde bulunmuşlardır[15].

Oggero vd. (2006), 1981-2004 yılları arasında tehlikeli maddelerin kara ve demiryolu ile taşınması esnasında meydana gelen 1.932 kazayı incelemiştir. Araştırmalar MHIDAS (The Major Hazard Incidents Data Service) veri tabanı üzerinden yapılmıştır. Kaza verilerinden hareketle kazaların taşıma türüne ve sonuçlarına göre dağılımı yapılmıştır. İncelenen kazaların yarısından çoğunun (%67) karayolunda gerçekleştiği belirtilmiş ve bu kazaların da %78'inin kimyasal maddelerin açığa çıkması, %28'inin yanma, %14'ünün patlama ve %6'sının da gaz bulutu şeklinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Kazaların nedenleri, söz konusu tehlikeli maddeler ve kazaların kitlesel sonuçları analiz edilmiştir. Kazaların %73,5'i darbe veya çarpma ile meydana gelirken, bunu sırayla mekanik hatalar, dış etkiler ve insan faktörü izlemiştir. 1981-2000 yılları arasında kazalarda büyük artış gözlemlendiği belirtilmiş ve bu durumun kara ve demiryolu taşımacılığının artması ile ilişkilendirilebileceği gibi kaza bilgilerine ulaşma olanağının artmasına da bağlanabileceği ifade edilmiştir. Kazalardan etkilenen kitle, ölü sayısı, yaralı sayısı ve tahliye edilen birey sayısı olarak dikkate alınmıştır. Kaza-ölü sayısı istatistikleri toplumsal risk eğrileri kullanılarak f-N grafiği adıyla da bilinen birikimli sıklık-ölü sayısı grafikleri elde edilmiştir. Kazaları önlemek için alınabilecek en iyi önlemin ulaşım alanında uzman kişilerin yetiştirilmesi olduğu ileri sürülmüştür[16].

Bubbico vd. (2006), sabit tesislerde uygulanmakta olan birçok yöntemin rota boyunca değişkenlikler içermesi nedeniyle taşımacılık risk analizine uygulanmasının zor olduğunu ileri sürmüştür. Rota boyunca çeşitli verileri analiz etmek amacıyla coğrafi bilgi sisteminin kullanılabilmesini, ancak gerekli tüm verilerin burada mevcut olmadığını belirtmiştir. Buna ek olarak gerekli verilerin sağlanabilmesi durumunda bile risk analizinin kısa zamanda yapılması gerektiğini ifade etmiştir[17].

Carotenuto vd. (2007), tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığında, belirli bir bölgedeki kalkış ve varış noktaları arasında en az risk taşıyan yolların belirlenmesi konusunu ele almışlardır. Problem matematiksel olarak formüle edilerek, çözümü için sezgisel sonlu işlem sırası yöntemi önerilmiş ve seçilen bölgeler için bir dizi hesaplama testleri uygulanmıştır[18].

Matias vd. (2007), tehlikeli maddelerin taşınmasında yolun uygunluğunu belirleme ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Bir kazanın yolun belirli şeridi üzerine etkisinin tanımlandığı 31 etken belirlenmiş ve kaza olasılığı ve kaza şiddeti olmak üzere etkenler iki alt grupta incelenmiştir. Yapay zeka ile öğrenme (machine learning) yöntemlerinden “çok katmanlı algılayıcı ağlar”, “sınıflandırma ağaçları” ve “destek vektör makineleri” ile uygulamalar yapılmış, en iyi sonuçların vektör makineleri kullanılarak elde edildiği ifade edilmiştir[19].

Kostantinos G.Z. ve Kostantinos N.A. (2008) çalışmalarında tehlikeli malzeme rotaları ile acil müdahale dağıtım kararlarını koordine ederken seyahat süresi, risk ve tahliye etkileri açısından alternatif taşıma yollarını değerlendirmek için bir karar destek sistemi (KDS) geliştirmişlerdir. Geliştirilen KDS; maliyet ve risk minimizasyonu açısından alternatif tehlikeli malzeme dağıtım yollarının belirlenmesi, Olası Kazalara zamanında müdahale etmek için acil hizmet birimlerinin yerlerinin belirlenmesi ve kaza sonucu etkilenen bölgeden tahliye yollarının ve tahmini tahliye zamanının belirlenmesi konularında işlev göstermektedir. Söz konusu işlevleri uygulanması tehlikeli madde yönlendirme ve acil müdahale birimlerinin yerleşim problemleri için sırasıyla iki yeni tamsayı programlama modellerine dayanmaktadır[20].

Qiao vd. (2009), kaza sıklığı tahmininin temel bir konu olduğunu ve son zamanlarda birçok veri tabanının kaza sıklığı için yalnızca birkaç etmeni dikkate aldığı belirtilmiş ve kaza sıklığı tahmini için toplumsal veri tabanları ve uzman görüşleri kullanılarak bir tahmin yöntemi önermişlerdir. Tahminler için kullanılan değişkenler rotaya bağımlı ve rotadan bağımsız olarak iki şekilde ele alınmışlardır. Rotaya bağımlı parametreler hat sayısı, hava koşulları ve nüfus yoğunluğu olarak belirlenirken rotadan bağımsız değişkenler araç düzenlemesi, yük kapasitesi ve sürücü deneyimi olarak seçilmiştir. Kaza sıklığını rotaya bağımlı değişkenlerin bir fonksiyonu olarak türetmek için veri tabanlarına negatif binom dağılımı (negative binomial regression) uygulanmış, rotadan bağımsız değişkenler ise bulanık mantık ile modellenmiştir. Bu bileşik yöntemin risk analizi için bir temel sağladığı ve daha sonra karar destek sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilebileceği belirtilmiştir[21].

Milazzo vd. (2010), tehlikeli madde taşımacılığında kazalarla ilgili risklerin tahmini konusunda bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmanın ilk bölümünde meteorolojik ve demografik veriler ile tehlikeli madde akış verileri toplanmıştır. Taşınan maddeler ADR sınıflarına göre sınıflandırılmış; yanıcı ve zehirli gaz ile sıvılar olmak üzere farklı kategorilerde incelenmiştir. Araçların kalkış ve varış noktaları dikkate alınarak farklı rotalar tanımlanmıştır. Kaza sıklığının tahmini için literatürdeki verilerden yararlanılmış, kazaların temel nedenleri lastik patlaması ve fren arızası olarak kabul edilmiştir.

Sıklık değerleri hesaplanırken de yol tipi dikkate alınmış, otoyol ve şehir içi yollar için farklı hesaplamalar yapılmıştır. Rota boyunca sıklığın sabit olduğu kabul edilmiştir. Ancak köprüler, yol geçişleri, tüneller gibi kesişme noktaları dikkate alınarak bir düzeltme faktörü tanımlanmış ve her bir rota için bireysel ve toplumsal riskler elde edilmiştir[22].

Lozano vd. (2010), Meksika’da meydana gelen kazalara dayanarak, kalabalık kentsel bölgelerde tehlikeli madde taşımacılığı kazalarının analizi üzerine çalışmışlardır. Yaşanan kazalardan sonuçları ciddi veya ciddi olabilecek 6 adet olay seçilmiş ve olayların ayrıntıları listelenmiştir. Her bir kaza için maruziyet bölgeleri belirlenmiş ve olası kazalarda tahliye edilmesi gereken bölge sakinlerinin ve seyahat halindeki kişilerin sayısı hesaplanmıştır. Saçılmalar için, farklı zehirlilik seviyelerinde yayılma modelleri kullanılmış, ağır gazlar için ise “Gauss kirlilik modeli” uygulanmıştır. Sonuç olarak bölgede büyük kayıplara yol açacak bir kaza yaşanmamış olmasına rağmen bu durumun gerçekleşebileceği ve çözümün çok tehlikeli maddelerin varış noktalarını yeniden yapılandırmak ve kentsel bölgelerde bu araçların geçişinin yasaklamak olabileceği ifade edilmiştir[23].

Guo ve Verma (2010), tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığı üzerine risk değerlendirme ve rota belirleme konularında birçok çalışma yapıldığı, ancak neredeyse tüm çalışmalarda sabit yük kapasitesi kabulü yapıldığından, araç kapasitelerine ilişkin bir çalışmada bulunulmadığını belirtmiştir. Bu çalışmada, belirlenen bir rota üzerinde farklı yük kapasitelerinin tehlikeli madde taşımacılığı üzerine etkisi araştırılmıştır. Yük kapasitelerinin seçiminde, karar vericinin risklere karşı duyarlı ve duyarsız olması durumları dikkate alınmıştır. Risklere duyarsız karar vericilerin, kaza olasılığı tüm araç boyutlarında sabit olduğu sürece tek araç kullanmayı seçecekleri, risklere duyarlı karar vericilerin ise riskten kaçınma eğilimlerine bağlı olarak karar verecekleri belirtilmiştir[24].

Reniers vd. (2010), farklı şekillerde taşınan hareket halindeki tehlikeli maddelerin bağıl risk seviyelerini değerlendirmek için bir yöntem geliştirmiştir. Rotalar daha küçük alt kesimlere (segment) bölünmüş ve kaza senaryoları oluşturulmuştur. Kaza senaryolarının sonuçları, ölümcül mesafenin %1’i içindeki insanların sayısı cinsinden hesaplanmıştır. Yöntemin kullanıcı dostu, yarı-nicel risk analizi aracı sağladığı belirtilmiş ve tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan rotaların alt kesimleri arasında karşılaştırma yapmaya olanak sağladığı ifade edilmiştir[25].

Tehlikeli malzeme rotalama ve çizelgeleme kararları müşteri taleplerinin minimum maliyet ve/veya risk rotası olmasını içerir. Kostantinos N.A. ve Kostantinos G.Z. (2010) çalışmalarında tehlikeli malzeme dağıtım planını rotalama ve çizelgeleme problem olarak ele almışlardır. Maliyet ve risk özelliklerinin taşıma ağlarının her biri için zaman bağımlı olduğu varsayımı altında belirtilen süreler içerisinde müşterilere ulaştırılması için çözüm aranmış ve bu çözümü zor olan problem için “k-shortest” algoritmasını önermişlerdir. Bu algoritmayı literatürdeki test problem ile test ederek sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Ayrıca gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunmuşlardır[26].

Xie vd. (2012) çalışmalarında tehlikeli malzemelerin taşınması konum ve rotalama problemlerinde çok modlu taşıma problemini (karayolu ve demiryolu) ele almışlardır. Maliyet, depolama kapasitesi ve risk değişkenlerini dikkate alan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu yeni model ara depolama alanı yeri ve rotalama planını eş zamanlı olarak optimize edebilmektedir. Farklı iki örnek durumlar için çözümler olarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada gelecekte yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur[27].

6. Sonuç ve değerlendirme

Dünya üzerinde hızla artan sanayileşme beraberinde tehlikeli maddelerin kullanımını ve bu maddelerin bir noktadan diğerine taşınmasını arttırmıştır. Bu gelişmeye bağlı olarak literatürde tehlikeli madde taşımacılığı konusuna yönelik çalışmalar yoğunluk kazanmaya başlamıştır. Literatüre ilişkin değerlendirmeler bu makalenin 5. bölümünde yapılmıştır. Konuyla ilgili ülkemiz mevzuatı ve ADR anlaşmasına yönelik araştırma sonuçları paylaşılmıştır. Ayrıca bu makalede sağlık ve güvenlik önlemleri açısından manifoldlu tüp demetlerinin tasarımı, üretimi, etiketlenmesi ve testleri ile ilgili gereksinimler ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Ercan Kalkan M., Karayolu ile Tehlikeli Madde Taşımacılığında Yerleşim Alanlarının Riskleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2012.
- [2] Yurttagül G., Tehlikeli Maddelerin Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığı, İş Müfettiş Yardımcılığı Etüdü, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Ankara, 2012.
- [3] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), (European Agreement Concerning The International Carriage of Dangerous Goods by Road-ADR) (http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html) Erişim Tarihi:04.02.2013
- [4] Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (<http://www.osha.gov>) Erişim Tarihi:04.02.2013
- [5] Öncül Ö. ve Yumuşak D., Tehlikeli Materyallerin Güvenli Taşınması, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 63(1), 145-150, 2006.
- [6] EN 13769, Transportable gas cylinders-Cylinder bundles-Design, manufacture, identification and testing, European Committee for Standardization (CEN), 2003.
- [7] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA)[<http://phmsa.dot.gov>]ErişimTarihi:04.02.2013
- [8] Cassini P., Road transportation of dangerous goods: quantitative risk assessment and route comparison, Journal of Hazardous Materials, 61(1-3), 133-138, 1998.
- [9] Leonelli P., Bonvicini S. and Spadoni G., Hazardous material transportation: a risk analysis based routing methodology, Journal of Hazardous Materials, 71(1-3), 283-300, 2000.
- [10] Fabiano B., Curro F., Palazzi E. and Pastorino R., A framework for risk assessment and decision making strategies in dangerous good transportation, Journal of Hazardous Materials, 93(1), 1-15, 2002.
- [11] Bubbico R., Di Cave S. and Mazzarotta B., Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a simplified approach", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 17(6), 477-482, 2004.
- [12] Bubbico R., Di Cave S. and Mazzarotta B., Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 17(6), 483-488, 2004.
- [13] Hu C.Y. and Raymond D.J., Lessons learned from hazardous chemical incidents- Louisiana Hazardous Substances Emergency Events Surveillance (HSEES) system, Journal of Hazardous Materials, 115(1-3), 33-38, 2004.
- [14] Fabiano B., Curro F., Reverberi A.P., Pastorino R., Dangerous good transportation by road: from risk analysis to emergency planning, [Journal of Loss Prevention in the Process Industries](#), 18(4-6), 403-413, 2005.
- [15] Oggero A., Darbra R.M., Munoz M., Planas E. and Casal J., A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail, Journal of Hazardous Materials, 133(1-3), 1-7, 2006.
- [16] Bubbico R., Maschio G., Mazzarotta B., Milazzo M.F. and Parisi E., Risk management of road and rail transport of hazardous s, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 19(1), 32-38, 2006.
- [17] Carotenuto P., Giordani S. and Ricciardelli S., Finding minimum and equitable risk routes for hazmat shipments, Computers & Operations Research, 34(5), 1304-1327, 2007.
- [18] Matias J.M., Taboada J., Ordonez C. and Nieto P.G., Machine learning techniques applied to the determination of road suitability for the transportation of dangerous substances, Journal of Hazardous Materials, 147(1-2), 60-66, 2007.
- [19] Konstantinos G.Z., Konstantinos N.A., A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions, [Transportation Research Part C: Emerging Technologies](#), 16(6), 684-703, 2008.
- [20] Qiao Y., Keren N. and Mannan M.S., Utilization of accident databases and fuzzy sets to estimate frequency of HazMat transport accidents, Journal of Hazardous Materials, 167(1-3), 374-382, 2009.
- [21] Milazzo M.F., Lisi R., Maschio G., Antonioni G. and Spadoni G., A study of land transport of dangerous substances in Eastern Sicily, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 23(3), 393-403, 2010.
- [22] Lozano A., Munoz A., Antun J.P., Granados F. and Guarneros L., Analysis of hazmat transportation accidents in congested urban areas, based on actual accidents in Mexico, Procedia Social and Behavioral Sciences, 2(3), 6053-6064, 2010.
- [23] Guo X. and Verma M., Choosing vehicle capacity to minimize risk for transporting flammable materials, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 23(2), 220-225, 2010.
- [24] Reniers G.L.L., De Jongh K., Gorrens B., Lauwers D., Van Leest M. and Witlox F., Transportation Risk ANalysis tool for hazardous Substances (TRNS): a user-friendly, semi-quantitative multi mode hazmat transport route safety risk estimation methodology for Flanders, [Transportation Research Part D-Transport and Environment](#), 15(6), 489-496, 2010.
- [25] Konstantinos N.A., Konstantinos G.Z., Solving the bicriterion routing and scheduling problem for hazardous materials distribution, [Transportation Research, Part C: Emerging Technologies](#), 18(5), 713-726, 2010.
- [26] Xie Y., Lu W., Wang W. and Quadrifoglio L., A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation, [Journal of Hazardous Materials](#), Volumes:227-228, 135-141, 2012.