

“KARAYOLU TÜNELLERİNİN SINIFLANDIRILMASI” EĞİTİMİ

Mehmet GÜRSOY
İnş.Yük.Müh.

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) bünyesinde hazırlanarak 30 Eylül 1957 tarihinde Cenevre'de imzalanan ve 29 Ocak 1968 tarihinde Avrupa'da yürürlüğe giren "Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Avrupa Anlaşması (The European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road-ADR)" [1], 28'i Avrupa Birliği üyesi ülke olmak üzere Türkiye'nin de içinde bulunduğu 46 ülkenin taraf olduğu uluslararası anlaşmadır.

Ülkemizin anlaşmaya katılması, 5 Aralık 2005 tarih ve 5434 sayılı kanunla uygun bulunmuş olup, bu kanuna dayanarak, 24 Ekim 2013 tarih ve 28801 sayılı Resmi Gazetede "Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik" [2] yayımlanmış ve konular itibarıyla yürürlük tarihleri açıklanmıştır.

Söz konusu Yönetmelikte, *tehlikeli madde yüklü taşıtların izleyeceği şehirlerarası güzergahların ve park yerlerinin tespit edilmesi ile karayolları üzerindeki tünellerin kategorilerinin ADR'ye uygun olarak belirlenmesi ve işaretlenmesi* görevi Karayolları Genel Müdürlüğüne verilmiş olup, çalışmanın 31 Aralık 2015 tarihine kadar tamamlanacağı belirtilmiştir.

Bu amaçla, Tesisler ve Bakım Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülen ülkemizdeki tünellerin ADR Anlaşmasında belirtilen hususlara göre değerlendirilmesi, tehlikeli maddelerin geçişine yönelik sınıflandırılması ve yönetmelikte sözü edilen çalışmalarda görev alan, tünel konularında çalışan kurumumuz personelinin Avrupa'daki tünel güvenliği uygulamaları hakkında bilgilendirilmesi için, Avrupa Birliği Teknik Destek ve Bilgi Değişimi (TAIEX) Programı [3] kapsamında Uzman talebinde bulunulmuş olup, Polonya'lı uzman Katarzyna Piechowska-Strumik görevlendirilmiştir. “Karayolu Tünellerinin Sınıflandırılması” konulu eğitim, 16-19 Mart 2015 tarihleri arasında, Program ve İzleme Dairesi Başkanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Şubesi Müdürlüğü koordinasyonunda gerçekleştirilmiştir.



EĞİTİMİN KAPSAMI

Eğitim, üç bölüm olarak yürütülmüş olup, tünel güvenliği konusunda AB Mevzuatı ve AB Direktifinde yer alan güvenlik yönetimi sistemini oluşturan bileşenler, görevleri, güvenlik önlemleri, ADR anlaşması ve ISO kılavuzu konuları birinci bölümde açıklanmıştır.

İkinci bölümde, ADR'ye göre tünel sınıflandırması için metodolojik yaklaşımlar, karayolu tünelleri için risk değerlendirmesi metotları ve modellemeleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde ise, AB ülkelerindeki mevcut uygulamalar ve pratik yöntemler konularında gelişmeler örneklerle açıklanmış, bilgi, işleyiş ve uygulamaya yönelik kazanımlar aktarılmıştır.

Eğitime, AB ve Dış İlişkiler Şubesi Müdürlüğü, Sanat Yapıları Bakım, Onarım ve İşletme Şubesi Müdürlüğü, Bakım ve İşletme Şubesi Müdürlüğü, Yapım ve Köprüler Şubesi Müdürlüğü, Tünel Şubesi Müdürlüğü, Yol Yapım Şubesi Müdürlüğü, Jeolojik Hizmetler Şubesi Müdürlüğü, Malzeme Laboratuvarları Şubesi Müdürlüğü, Zemin Mekaniği ve Tünel Şubesi Müdürlüğünden 23 personel katılmıştır.

TÜNEL GÜVENLİĞİ MEVZUATLARI

Eğitime, ulaşım ağlarının önemli yapılarından olan tünellerin, yeraltında, kapalı kesitli olmaları nedeniyle, yapım ve işletimleri esnasında karşılaşılan zorluklara ve maliyetlerine ilave olarak "güvenlik" konularının büyük önem taşıdığı mühendislik yapıları olduğu vurgulanarak başlandı.

Yük ve yolcu trafiğinin hızla arttığı, şehirler arası ve ülkeler arası taşımacılığın büyük bölümünün altyapısını oluşturan karayolu ağı ve üzerindeki tünellerin yol kullanıcılarına sağladığı sürekli ve konforlu ulaşımın güvenli biçimde yapılabilmesi için altyapının işletimine yönelik çalışmaların "**Güvenlik Yönetimi**" kavramı içinde ele alınmasını zorunlu hale getirdiği açıklandı. Her bir tünelin coğrafi şartları nedeniyle, yapım ve işletim koşullarının farklılıklar içerdiği, dolayısıyla genel kurallar belirlenmiş olsa da tünel özelinde güvenlik değerlendirmeleri ve uygulamalarının yürütülmesi gerektiği vurgulandı.

Bu amaçla, Avrupa'da, 2004/54/EC sayılı AB Direktifi [5], ADR 2007/2009 [1] ve ISO Guide 73:2009 [6] dokümanlarının yayımlandığı ve yürürlükte olduğu, bunlara göre tünellerde tedbirler alınmasının gerekliliği, kontrol ve denetimlerin ileri düzeyde uygulanması, kaza sayısını azaltmanın ve tünel içindeki olayların yönetilmesinin önemi, tünellerin uzmanlık gerektiren çalışma konularını içerdiği, ulusal mevzuatların yanı sıra uluslararası mevzuatların da büyük önem taşıdığı, tünelden geçen tehlikeli maddelerin belirlenmesi ve tünellerin sınıflandırılmasının gerekliliği anlatılarak, karar destek sistemleri ve özellikle risk analizinin önemi vurgulandı.

➤ 2004/54/EC sayılı AB Direktifi

1999 ve 2011 yıllarında Avrupa'da meydana gelen Mont-Blanc (Fransa-İtalya, 24.03.1999, 39 ölüm), Tauern (Avusturya, 29.03.1999, 12 ölüm), Gotthard (İsviçre, 24.10.2001, 11 ölüm) [4] gibi tünel kazalarından sonra tünellerdeki güvenlik konularının gündeme geldiği, asgari güvenlik önlemleri oluşturulması gerektiği düşünülerek çalışmalara başlandığı ve 2004 yılında 2004/54/EC sayılı "Trans-Avrupa Karayolu Ağı Üzerindeki Tünel için Minimum Güvenlik Gereksinimleri" [5] direktifinin yayımlandığı anlatıldı.

1692/96/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Komisyonu kararı ile belirlenen ve 1315/2013 sayılı tüzükle (Regulation) yenilenen, ülkemizin ulaştırma altyapısının da yer aldığı, özellikle Kurumumuz sorumluluğundaki karayolu ağının 15200 km.lik bölümüne de tüzüğün '*komşu ülkelere genişleme*' sayfalarında yer verildiği "**Trans-Avrupa Ulaştırma Ağı (TEN-T)**" üzerinde bulunan 500 m.den uzun karayolu tünellerinin proje, yapım ve işletme aşamalarında, güvenlik yönetimi yapılanması ve güvenlik önlemlerinin belirli bir takvim içinde uygulanmasının hedeflendiği açıklandı. Ayrıca, Direktifte minimum olarak ele alınan güvenlik gereksinimlerinin üye ülkelerce uygulama zorunluluğu bulunduğu, daha üst seviyede

güvenlik standartlarının ülkeler tarafından oluşturulması ve uygulanması gerektiği, her bir tünelde güvenlikle ilgili belgeler ve dokümantasyonunun gerekli görüldüğü belirtildi.

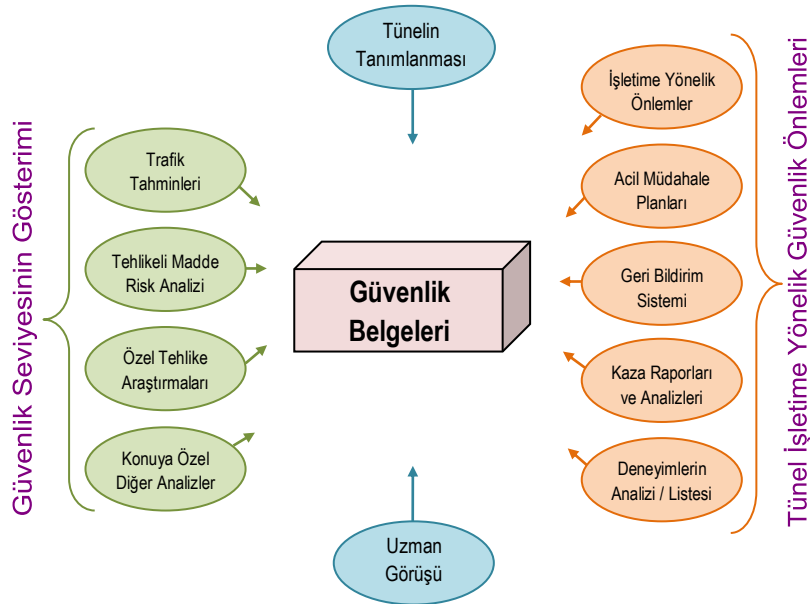
Direktifin amaçları; tünelde gelişebilecek olayların önlenmesi, insan yaşamı, çevre ve tünel yapısının korunması, ortaya çıkacak olayların sonuçlarının azaltılması için tünel içindeki olağan koşullara en kısa zamanda geri dönüşün sağlanması, olayların en asgari seviyede zarar verecek şekilde yönetilmesi, tünel kullanıcılarının bilgilendirilmesi kampanyaları, tünellerdeki acil çıkışların sağlanması, güvenliğin artırılması için acil durum servisleriyle yakın çalışılması ve zararın en alt düzeyde tutulması olarak açıklandı.

2004/54/EC sayılı Direktifin "gereksinimlerinin" iki bölümde toplandığı belirtildi.

1. İşletmeye yönelik **idari yapılanma gereklilikleri**; İdari merci, Tünel Yöneticisi, Güvenlik Memuru, Muayene (Teftiş) Kuruluşu ve Acil Durum Servisleri olarak beş kademenin olduğu, çok fazla kurumun olmasının işleri zorlaştırabildiği, tünellerle ilgili güvenlikten sorumlu idari bir birimin olması ve teftiştten sorumlu bir birimin de bulunması gerektiği ifade edildi.

2. Yapısal ve donanım ekipmanları ile ilgili **teknik gereklilikler**; tünel altyapısı, işletim, araçlar ve yol kullanıcılarına yönelik olarak dört başlık altında gruplandırılabilirdiği, Birleşmiş Milletlerin yol ve tünel güvenliğinden sorumlu birimlerde altyapı ve kullanıcılar konusunda da gerekliliklerin bulunduğu, Direktif ekindeki minimum gerekliliklere göre tünel içindeki güvenliğin sağlandığı, üye ülkelerin başka güvenlik önlemleri uygulayabileceği, ancak bunların AB Komisyonunun onayını gerektirdiği vurgulandı.

Ayrıca, Güvenlik Belgelerinin tünel yöneticisi tarafından sürekli güncellendiği, önleyici ve koruyucu önlemlerin tanımlandığı, güvenlikle ilgili önemli bilgileri içerdiği, tüneldeki trafik akışı ve tehlikeli madde geçişleri bilgilerinin arşivlendiği anlatıldı. Güvenlik belgelerinin Direktifle uygunluğunun da incelendiği, tüneldeki her olayla ilgili raporlama ve geri bildirim yapıldığı da belirtildi.



Şekil-1: Tünellerde Güvenlik Belgeleri

➤ ADR Anlaşması 2007/2009

"Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığın İlişkin Avrupa Anlaşması ADR'nin 1968 yılında Avrupa'da yürürlüğe girdiği ve Avrupa ülkelerinin bireysel olarak anlaşmayı kabul edip taraf oldukları belirtildi. Anlaşmada, tehlikeli maddelerin tanımlandığı, sınıflandırıldığı, karayoluyla güvenli şekilde taşınması için takip edilecek kuralların açıklandığı, özellikle tehlikeli madde taşıma güzergahlarının belirlenmesi ve bunlar üzerindeki tünellerin incelenerek tehlikeli madde geçişine sınırlamalar getirilecek şekilde sınıflandırılmasını içerdiği açıklandı. Ayrıca, 2007'den itibaren tüm AB üyesi ülkelerde uygulandığı, karayolu güzergahları ve tüneller konularındaki kısıtlamaların 2009 sonuna kadar ülkelerin ulusal kanunlarında yer alması ve 1 Ocak 2010 tarihinde de değişikliklerin zorunlu olduğu vurgulandı.

ADR'ye göre tünellerin, tünel kullanıcılarına ve tünel yapısına verdikleri zararlar açısından **Patlama, Zehirli Gaz ve Zehirli Sıvı Salınımı, Yangın** olmak üzere üç ana tehlikeye karşı sınıflandırıldığı, tehlikeli maddelerin türlerine ve miktarlarına göre **A, B, C, D** ve **E** olmak üzere beş tünel sınıfının oluşturulduğu açıklandı (ADR 1.9.5.2.2. madde).

Tünel Sınıfı	Tünel Geçişindeki Kısıtlamalar
A	Tehlikeli maddelerin taşınmasında kısıtlama uygulanmaz
B	<ul style="list-style-type: none">• Çok büyük patlamaya sebep olabilecek tehlikeli maddelerin kısıtlanması
C	<ul style="list-style-type: none">• Çok büyük patlama,• Büyük patlama veya• Geniş alanda zehir salınımına sebep olabilecek tehlikeli maddelerin kısıtlanması• B Sınıfı Tünellerde kısıtlanan tehlikeli maddeler
D	<ul style="list-style-type: none">• Çok büyük patlama,• Büyük patlama,• Geniş alanda zehir salınımı veya• Büyük yangına sebep olabilecek tehlikeli maddelerin kısıtlanması• C Sınıfı Tünellerde kısıtlanan tehlikeli maddeler
E	Bütün tehlikeli maddelerin kısıtlanması (Birleşmiş Milletler tarafından tanımlanmış 2919, 3291, 3331, 3359 ve 3373 UN No.lu maddeler hariç)

Tablo-1: ADR'ye göre Tünel Sınıflandırması

Ayrıca, tüneldeki geçiş yasağını ve güzergah alternatifini açıklayacak şekilde karayolunda levha ve ışıklı işaretlemelerin yapılması, alternatif güzergahın seçilmesine imkan sağlayacak uygun yerlere tesis edilmesi gerektiği, tünelden geçişi kısıtlanmış tehlikeli maddelerin ifade edildiği tünel sınıfını gösteren levhanın da yerleştirilmesinin önemi vurgulandı.

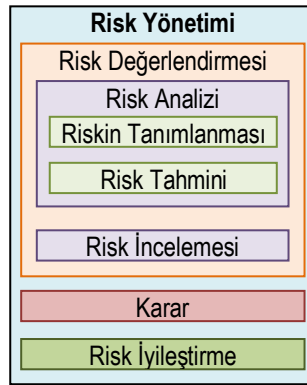
➤ ISO Guide 73:2009

Risk Yönetimi konusunda bir kılavuz olan ISO 31000 standardının, riskin yönetim sürecini, çerçevesini ve prensiplerini açıkladığı, riskle ilgili genel terimlerin ve tanımlamaların ise ISO Guide 73:2009 içinde "terimler listesi" şeklinde toplandığı açıklandı. Ayrıca, kılavuzun, risk yönetimi konusunda çalışanlar, ISO¹ ve IEC² çalışmaları içinde bulunanlar, ulusal veya sektör özelinde standart, kılavuz, metot ve risk yönetimi ile ilgili pratik kodlar geliştiren uzmanlar tarafından kullanıldığı belirtildi.

¹ International Organization for Standardization (ISO), Uluslararası Standartlar Teşkilâtı

² International Electrotechnical Commission (IEC), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu

Buna göre ;
Risk; tehlikenin 0 ve 1 arasında meydana gelme olasılığının ve tehlikenin önem derecesinin birleşimi,
Tehlike; insan sağlığına, yapıya veya çevreye verilen fiziksel yaralanma veya hasar,
Risk değerlendirme; risk analizi ve risk incelemesine yönelik genel işlemler,
Risk analizi; sağlanabilen bilgilerin sistematik değerlendirilmesiyle tehlikeleri tanımlama ve riski tahmin etme,
Risk tahmini; riskin sonucunu ve olasılık değerlerini belirleme süreci,
Risk incelemesi; riskin kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için risk analizine dayalı çalışmalar,
Risk iyileştirme; riskin azaltılması ile ilgili önlemlerin uygulanması,
Karar; karar kriterlerine dayanarak risk önlemlerini seçme süreci,
Risk yönetimi; risk değerlendirme, karar, risk iyileştirme ve riskin kontrolü süreçlerinin genel işlemleri olarak tanımlandı ve süreçler arası ilişkiler Şekil-2'de gösterildi.



Şekil-2: Risk Yönetimi Süreçleri Arasındaki İlişkiler

TÜNEL SINIFLANDIRMASI İÇİN METODOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Tünellerin ADR'ye göre sınıflandırılmasında bilimsel gruplar tarafından bir çok metodun geliştirilmiş olduğu, AB üyesi ülkelerin özel metodolojilerinin de bulunduğu, dolayısıyla "ülkeye özel" durumlar da dikkate alınarak uygun olan modelin seçilmesi gerektiği belirtildi. Avusturya'nın TuRisMo, Hollanda'nın QRA-tunnels, Fransa'nın Specific Hazard Identification, İtalya'nın Risk Analysis for Road Tunnel, OECD/PIARC'ın QRA Modellerini [7] kullandıkları örnek olarak anlatıldı.

Ancak, bir çok ülkedeki uygulamada QRAM (Quantitative (Nicel) Risk Analizi Modeli) yazılımının esas alındığı, ülkeye özgü şartlara göre uyarlanarak kullanıldığı ve bazı ülkelerin kanunlarında da yer verildiği vurgulandı.

Tünel sınıfının belirlenmesine yönelik çalışmaların, aşağıda açıklandığı şekilde, sistematik olarak ve seçilen metodun adım adım uygulanmasıyla yapılması gerektiği, böylece çok daha gerçekçi, bilimsel ve uluslararası geçerliliği olan sonuçların elde edilebileceği belirtildi.

➤ Tehlike Senaryoları

GRAM Sınıflandırma metodolojisinde, tünelde meydana gelebilecek tehlikeler için 13 adet senaryo oluşturulduğu, hangi senaryoya hangi sınıf tünel için izin verildiği açıklandı. Tablo-2'de gösterilen 1 ve 2 no.lu senaryolarda, ağır yük taşımanın kendisinde oluşan iki farklı büyüklükteki yangının incelendiği, taşınan yükün yanmadığı belirtildi. Diğer senaryolarda ise taşınan tehlikeli maddenin yanması, patlaması ve zehirli gaz veya zehirli sıvı sızması durumlarının incelendiği vurgulandı.

Senaryo No	Tanımlama	Tank Kapasitesi	Boyut mm	Yayıma Hızı Kg/sn	Tehlike	Tünel Sınıfları				
						A	B	C	D	E
1	Ağır Yük Taşıtı Yangını 20MW	-	-	-	Orta Şiddette Yangın	*	*	*	*	
2	Ağır Yük Taşıtı Yangını 100MW	-	-	-	Büyük Yangın	*	*	*	*	
3	Silindirde Taşınan LPG'nin BLEVE Olayı	50 kg	-	-	Küçük Patlama	*	*	*	*	
4	Motor Karteli Yangını	28 ton	100	20,6	Büyük Yangın	*	*	*		
5	Motor Kartelinin VCE Olayı	28 ton	100	20,6	Orta şiddette patlama	*	*	*		
6	Klor Sızıntısı	20 ton	50	45	Büyük zehirli sızıntı	*	*			
7	Dökme Olarak Taşınan LPG'nin BLEVE Olayı	18 ton	-	-	Çok büyük patlama	*				
8	Dökme Olarak Taşınan LPG'nin VCE Olayı	18 ton	50	36	Çok büyük patlama	*				
9	Dökme Olarak Taşınan LPG'nin Meşale Şeklinde Yangını	18 ton	50	36	Çok büyük yangın	*				
10	Amonyum Sızıntısı	20 ton	50	36	Geniş alanda zehirli sızıntı	*	*			
11	Dökme Olarak Taşınan Akrolein Sızıntısı	25 ton	10	24,8	Geniş alanda zehirli sızıntı	*	*			
12	Silindirde Taşınan Akrolein Sızıntısı	100 Litre	4	0,02	Orta büyüklükteki zehirli sızıntı	*	*	*	*	
13	Dökme Olarak Taşınan Karbondioksit BLEVE Olayı (zehir etkisi dikkate alınmaz)	20 ton	-	-	Büyük Patlama	*	*			

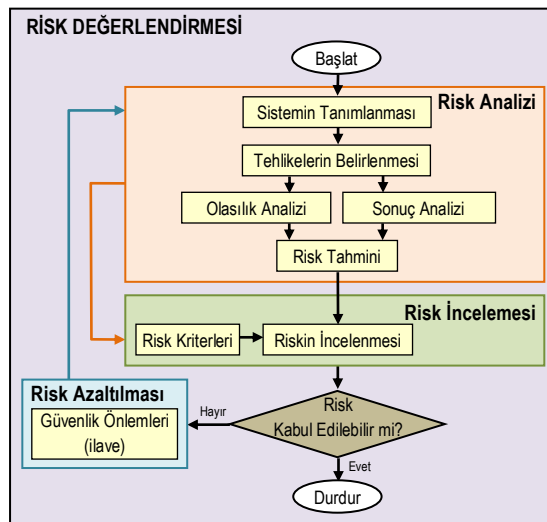
BLEVE: Kaynayan Sıvı Genleşme Buharı Patlaması, **VCE:** Buhar Bulutu Patlaması, **Ağır Yük Taşıtı Yangını:** Aracın yükünde değil kendisinde oluşan yangın
Akrolein: Kimyasal formülü C₃H₄O olan zehirli, uçucu organik bileşik
E Sınıfı tünellerden tehlikeli madde geçişine izin verilmediği için herhangi bir senaryonun uygulanmasına da gerek görülmemektedir.

Tablo-2: Tünellerdeki Tehlike Senaryoları

➤ Risk Değerlendirme

Tehlikeli maddelerin karayolu tünellerinden geçişine izin vermeden önce, oluşabilecek risklerin değerlendirme çalışmalarının, risk analizi, risk incelenmesi ve risk azaltılması aşamalarını kapsayan ve Şekil-3'te gösterilen bir akış içinde yapılması gerektiği, tünelin ADR sınıfının buna göre belirleneceği ve kararın verileceği açıklandı. Ayrıca, 2004/54/EC sayılı AB Direktifinde de tünel güvenliğine yönelik düzenlemeler ve önlemlerin geliştirilmesi için risk analizinin öngörüldüğü vurgulandı.

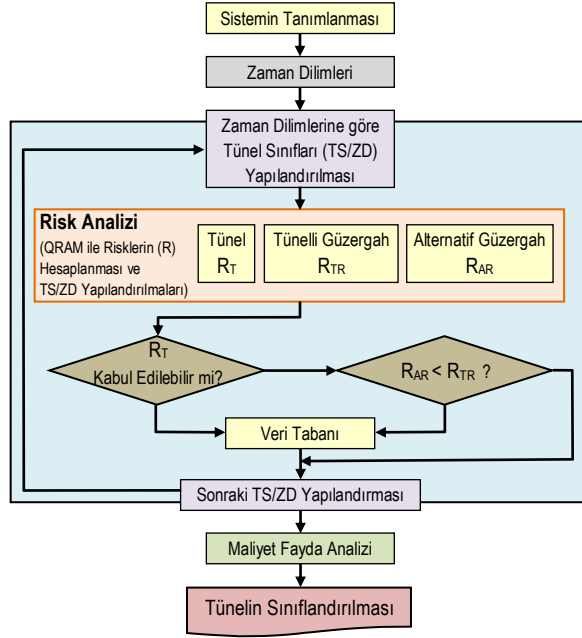
Öncelikle, sistemin tanımlandığı, potansiyel tehlikelerin tek tek belirlendiği ve sıralandığı, olasılık analizi ile gerçekleşme sıklığına ve sonuç analizi ile de meydana gelen olumsuzlukların sonuçlarına bakıldığı anlatıldı. Bunlara göre, riskin "kabul edilebilir" olması gerektiği, eğer değil ise güvenlik önlemleri ile riskin azaltıldığı ve tekrar incelenerek riskin "kabul edilebilir" sınırlar içinde olmasının sağlandığı açıklandı.



Şekil-3: Risk Değerlendirmesi Akış Şeması

➤ Tünel Sınıflandırma Süreci

ADR'ye göre tünelin sınıfını belirleme çalışmalarında kullanılan QRAM yazılımının Şekil-4'de gösterilen altı aşamayı içerdiği açıklanarak, her bir aşama detaylı şekilde anlatıldı.



Şekil-4: Tünel Sınıflandırma Sürecinde QRAM Yazılımı Akış Şeması

1. Sistemin Tanımlanması: Sınıflandırma çalışması yapılacak tünelin yapısal ve işletimsel özellikleri, güzergah bilgileri, alternatif yollar gibi çok fazla bilginin toplanmasıyla oluşan "**sistem**"e ait verilerin yazılıma girilerek sistemin tanımlanması gerektiği belirtildi.

2. Zaman Dilimleri (ZD): Tünelin kullanımındaki **sakin**, **normal** ve **zirve** olmak üzere zaman dilimlerinin "üç dönem" olarak sınırlandırıldığı ve bunları belirlemek için temel prensibin, 24 saat esnasında Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değerinin saatlik dağılımının "saatlik yüzdelerini" tanımlamak ve "üç" bölmek olduğu anlatıldı.

Buna göre;

Sakin Dilim, maksimum saatlik yüzdenin 0 ile 1/3'ünün olduğu aralık,

Normal Dilim; maksimum saatlik yüzdenin 1/3'ü ile 2/3'ünün olduğu aralık,

Zirve Dilim; kalan saat aralıklarını ifade ettiği belirtildi.

Böylece, farklı zaman dilimleri girilerek tehlikeli madde taşıyan araçların günün hangi saat diliminde geçirilmesinin "en az riskli" olduğunun ortaya çıkarıldığı açıklandı.

3. Zaman Dilimlerine göre Tünel Sınıfı Yapılandırılması: Risk analizi için, 65 kombinasyon önerisindeki üç zaman dilimine ADR'deki beş tünel sınıfının tanımlandığı ve ilave olarak kılavuz taşıtlı (escort) tehlikeli madde taşıyan araçların da incelenen kombinasyonlara dahil edilebildiği belirtildi. Buna göre, "tünel sınıfı (TS) - zaman dilimi (ZD)" yapılandırmalarına göre QRAM hesaplamalarının yapıldığı açıklandı.

4. Risk Analizi: Risk hesaplamalarının, önce **tünelin kendisi** için (R_T), sonra **tüneli de içeren güzergah** kesimi için (R_{TR}), sonra da **alternatif güzergah** için (R_{AR}), belirlenmiş 13 senaryonun her biri uygulanarak ayrı ayrı yapıldığı açıklandı. Burada, senaryoların her biri

için Beklenen Değerin (Expected Value-EV) riski tanımlayan ifade olarak hesaplandığı ve yıllık beklenen ölümleri (R) belirttiği anlatıldı.

13 tehlike senaryosu, 65 kombinasyonlu Tünel Sınıfı-Zaman Dilimi yapılandırmaları ve yukarıdaki 3 durum için yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan R değerlerinin "kabul edilebilir" olup olmadıklarına bakıldığı açıklandı.

Öncelikle, risk analizinin "tünel" için yapılarak R_T değerinin bulunduğu, R_T güvenli ise diğer iki durumun analiz edilmediği belirtildi. Eğer güvenli değil ise, "tünelli güzergahın" R_{TR} değerinin hesaplandığı, bu da uygun değil ise "tünelsiz alternatif güzergahın" R_{AR} değerinin hesaplanarak değerlendirildiği ifade edildi. Ayrıca, zaman dilimleri değiştirilerek R'nin kabul edilebilir sınırlara inmesinin sağlandığı, böylece tehlikeli maddelerin geçişi için en uygun zaman diliminin belirlenebildiği de açıklandı.

5. Maliyet-Fayda Analizi: Risk değerinin kabul edilebilir sınırlara indirilmesi için tünel, tünelli güzergah ve alternatif güzergahlarda risk azaltıcı önlemler alınması gerektiğinden ilave bir maliyetin ortaya çıktığı, dolayısıyla hesap sonuçlarının maliyet-fayda analizi ile değerlendirilmesi gerektiği belirtildi.

6. Tünelin Sınıflandırılması: Tünelin özelliklerine, risk azaltıcı önlemler ve bunların yapım- bakım-işletme maliyetlerinin analizine ve hesaplanan riske dayanarak karar aşamasına gelindiği, gerekli durumlarda diğer karar destek sistemleri de dikkate alınarak tünel sınıfının belirlendiği anlatıldı.

Sonuç olarak;

- ADR anlaşmasına göre tünellerin sınıflandırılması için en uygun tanımlamanın, QRAM [7] yazılımının kullanıldığı metodolojik yaklaşım olduğu,
- Maliyet-Fayda analizinin, tünel sınıflandırma sürecinde bütün paydaşlara çok sayıda avantajlar sağladığı,
- Önerilen yaklaşımın, karar destek aracı olarak kullanıldığı,
- Risk analizinin zaman alıcı gibi görünse de tünel bilgilerinin başlangıçta girilip kaydedildiği ve sonrasında tehlikeli maddenin veri olarak girilmesiyle analizlerin yapıldığı,
- Tünel yöneticisinin, tehlikeli maddenin cinsine göre en uygun geçiş zamanlamasını yapabildiği ve aracın tünelden geçişini "en az risk" olarak düzenleyebildiği ifade edildi.

RİSK ANALİZİ

Risk Analizi kavramının, nükleer santraller gibi çok daha tehlikeli sanayi tesislerinde başlatılan bir uygulama olduğu, olası kazalar ve olayların "öngörülü" şekilde değerlendirildiği, geçmişteki kazalardan gelen bilgilerin de incelemelerde yer aldığı, risk miktarının hesaplanabildiği, yapılacak iyileştirmelerle riskin azaltılabildiği, sistematik olarak yapılan "inceleme-değerlendirme" çalışmaları olduğu açıklandı.

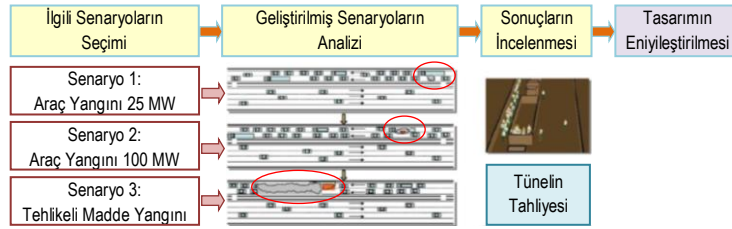
2004/54/EC Direktifinde yer alan tünel güvenliği konularında ve ADR'ye göre tünel sınıflandırma çalışmalarında, PIARC tarafından 2008 yılında yayımlanan "Karayolu Tünelleri için Risk Analizi - Risk Analysis for Road Tunnels" [8] dokümanının yaygın şekilde kullanıldığı vurgulandı.

Buna göre Risk Analizinin; özel amaçlar için çeşitli bileşenlerin bir arada toplandığı farklı yaklaşımlar, metotlar ve modellerin bir bütünü olduğu, potansiyel kazalardaki bileşenlerin ve etkileşimlerin sistematik olarak incelenmesi, çözümlenmesi, zayıf noktaların

tanımlanması, mümkün olabilecek gelişmelerin belirlenmesi, bunların sonucunda da riskin ölçülebilmesi çalışmalarını kapsadığı anlatıldı.

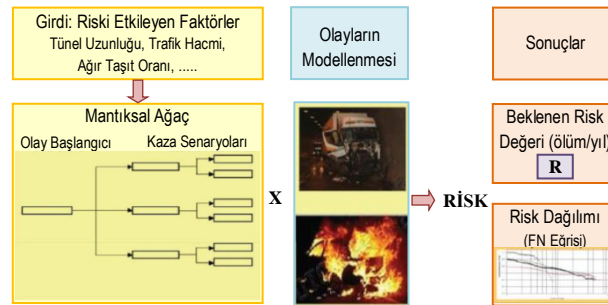
Risk Analizinin amaçlarının; güvenlik planlamasının genel anlamda tutarlılığını kontrol etmek, alternatifler arasında seçim yapabilmek, iyileştirme önerileri paketinden sapma durumlarında güvenlikteki değişimi gösterebilmek, maliyet-etkinlik kavramı içinde güvenlik planlamasını eniyileştirmek, performansa dayalı bir yaklaşım çerçevesinde güvenliği değerlendirmek olduğu açıklandı ve pratik uygulamalara yönelik mevcut yaklaşımlar anlatıldı.

➤ **Senaryo Esaslı Yaklaşım;** ilgili senaryoların tanımlandığı, gerçekleştiğinde ne gibi sonuçların ortaya çıkabileceği ve bunların değerlendirmeleri anlatıldı. Tünelde acil durum olduğunda etkilenen insanların tahliye imkanları ve tahliye sürelerinin araştırıldığı, yangın durumunda duman dağılımı, havalandırma ve baca gazı konsantrasyonlarının incelendiği, tehlikeli maddelerle ilgili her türlü sonucun modellendiği, acil durum müdahalelerinin nasıl yapıldığı ve zamanlamalarının araştırıldığı örnek olarak verildi.



Şekil-5: Senaryo Esaslı Yaklaşım

➤ **Sistem Esaslı Yaklaşım;** sistemin bütünü için yapılan değerlendirme olduğu, sisteme girilecek verilerin kullanım amacına uygun olması gerektiği, her tünelin kendine özgü özellikleri olduğu, çalışmaların deneyimli ve metodu bilen uzmanlarca yapılmasının önemi anlatıldı. Ayrıca, çok fazla tehlikeli madde çeşidi bulunduğu, her zaman net ve kesin sonuçların elde edilemeyebileceği, ancak doğru değerlendirmenin gerekliliği vurgulandı.



Şekil-6: Sistem Esaslı Yaklaşım

RİSK İNCELEMESİ

Risk analize ve riskin algılanmasına dayalı çalışmaları kapsadığı, riskin kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için yapıldığı belirtildi. Kişisel deneyimlerin, öngörü yeteneğinin, incelemede bulunan taraflar arasındaki iletişimin önemli olduğu, uzmanların olayın gerçekleşmesine bakarak konuya, başka tarafların da katılmasını gerekli görebildikleri açıklandı. Ayrıca, riskle ilgili temel kavramlar hakkında bilgi verildi.

a. Risk algısı: Risk algılamasını etkileyen faktörler arasında; faydaların hissedilmesi, gönüllü olmak, kontrol edilebilirlik, benzerlik, anlaşılabilirlik, doğa veya insan eliyle yapılmış olması, bilimsel belirsizlik, geri döndürülebilirlik, ürkütücülük, felaket potansiyeli, medya ilgisinin yer aldığı belirtildi.

b. Risk olgusu: Risk olguları kavramının ise dört durumdan oluştuğu açıklandı:

A durumu: İsteyerek riske maruz kalma. Kişilerin riski bilmelerine rağmen olayı yaşamaya devam etmesi, *örnek; paraşütle atlama*

B Durumu: Büyük oranda kendi kendine karar vermek, *örnek; otomobil kullanma*

C Durumu: Az miktarda kendi kendine karar vermek, *örnek; trende yolculuk yapma*

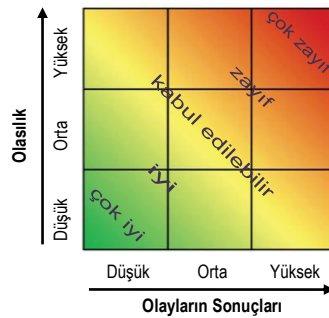
D Durumu: İstemeyerek riske maruz kalmak, *örnek; çocukların bir fabrika çevresinde oynaması*

Risklerin topluca değil, tek tek ele alınması, riskten kaçınmak için faaliyetler içinde olunması gerektiği, kamuoyu tepkisinin de önemli olduğu, toplumun değer yargılarına da bakılması gerektiği, meydana gelen bir kazanın şirketin iflasına dahi sebep olabileceği, bu nedenle konunun ciddiye alınmasının ve gereken titizliğin gösterilmesinin önemi vurgulandı.

c. Değerlendirme prensipleri: Riskin değerlendirilmesinde kullanılan iki yaklaşımın bulunduğu anlatıldı.

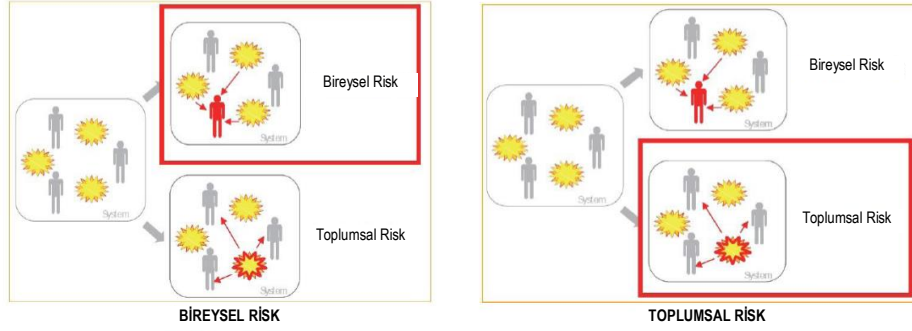
I. Niteliksel Yaklaşımlar (Qualitative Approaches): Ortaya çıkan değerlere göre daha kabul edilebilir bir risk olduğunun görülebildiği, belirsizlikler varsa bunların boyutları ve miktarlarının belirlenmeye çalışıldığı, güvenlik denetimi için tanımların, zorlayıcı hususların ve ortaya çıkan sonuçların değerlendirildiği açıklanarak, Avrupa'daki tünellerin değerlendirilmesinde halen kullanılan kontrol listelerinin (check list) mevcut olduğu da belirtildi.

Örnek olarak verilen aşağıdaki risk matrisinde, çok iyi (yeşil), iyi, kabul edilebilir (sarı), zayıf, çok zayıf (kırmızı) bölgelerin bulunduğu, incelenen tünele ait konuların yer aldığı bölgeye göre risk durumunun belirlendiği açıklandı.



Şekil-7: Risk Matrisi Örneği

II. Niceliksel Yaklaşımlar (Quantitative Approaches): İncelenen tünelde meydana gelecek olayın doğrudan bir kişiyi etkilemesi durumunda "bireysel riskin", birden fazla kişiyi etkilemesi durumunda da "toplumsal riskin" oluştuğu, dolayısıyla verilecek zararların büyüklüğünü ve şiddetini sistem esaslı, istatistiksel yaklaşımlarla ve risklerin tek tek değerlendirilmesi ile yapıldığı, riskin matematiksel olarak gösterildiği açıklandı.



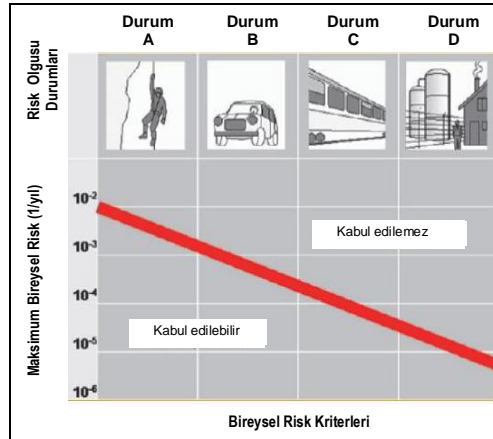
Şekil-8: Bireysel ve Toplumsal Risk

d. Bireysel Riskin Gösterimi: Belirli zaman diliminde belirlenmiş tehlikelerin "tek bir kişiye" verdiği zararın riskinin ne olduğu, kişinin etkilenme riskinin incelendiği, etkilenen kişi sayısının önemli olmadığı anlatıldı. Ayrıca, yaygın bir yaklaşım olarak kullanılmadığı da vurgulandı.

Günlük yaşamın getirdiği risklerin kabul edilebilir seviyede olduğu, bir kişinin tünelden geçerken aldığı riske 'ilave riskler' eklenmemesi gerektiği de belirtildi.

$$r_i = p_i * C_i = p_s * p_E * k * \lambda_k$$

r_i ; Bireysel Risk
 p_s ; tehlike senaryosunun olasılığı
 p_E ; senaryoya maruz kalma olasılığı
 k_i ; zarar göstergesi
 λ_k ; k'nın isteğe bağlılık miktarı

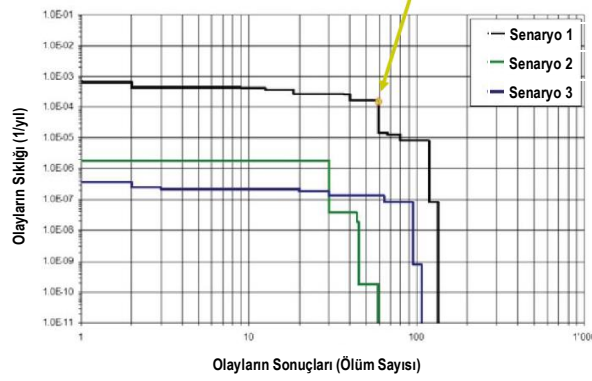


Şekil-9: Bireysel Riskin Formülasyonu ve Gösterimi

e. Toplumsal Riskin Gösterimi: Riskin, sistematik değerlendirme ve matematiksel gösterimi dört alt başlıkta incelendi:

I. FN Diyagramı: Bir tüneldeki farklı senaryolar için "olayın oluşma sıklığı F (Frequency)" ve "olay gerçekleştiğinde ortaya çıkacak ölüm sayısı N (Number of Consequences/Fatalities)" eğrileri çizilerek ve aynı diyagramda gösterilerek değerlendirildiği açıklandı.

Aşağıdaki örnekte, bir tüneldeki üç senaryo için FN eğrilerinin (siyah, yeşil, mavi) verildiği, sarı ile işaretli nokta için, siyah senaryonun eğrisinin ; 2×10^{-4} sıklıkla (yirmibinde bir), 60 veya daha fazla insan ölebilir anlamı içerdiği belirtildi.



Şekil-10: FN Diyagramı

II. Beklenen Değer (EV): Uzun süreli toplumsal riskin ölçümünü belirlemek üzere, bir tünelde, yıl bazında (1/yıl) meydana gelebilecek toplumsal riskin ölçüsü olarak hesaplandığı, EV (Expected Value) olarak ifade edildiği açıklandı.

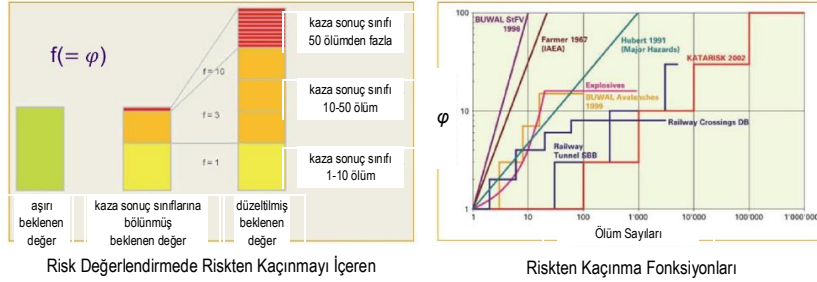
$$EV(= R_0) = \sum_{i=1}^n p_i * C_i = \int p(C) * C dc$$

EV ; Toplumsal Riskin Beklenen Değeri
 p_i ; Olayların Olasılığı / Sıklığı
 C_i ; Olayların Sonuçları (Ölüm Sayısı)
 n ; Bütün İlgili Senaryolar

III. Algılanan Risk: Bazı kazaların görüldüğünden farklı algılanabildiği, bu nedenle de algılanan kazanın büyüklüğünün R_P (Perceived Risk) olarak alındığı açıklandı.

$$R_P = \sum_{i=1}^n p_i * C_i * \varphi(C_i)$$

R_P ; Algılanan Risk (riskten kaçınmayı içeren ağırlıklı beklenen değer)
 $\varphi(C_i)$; Olayların Sonuçlarının (C_i) bir fonksiyonu olarak riskten kaçınma faktörü



Şekil-11: Risk Algılama Faktörü ve Örneklemeler

IV. Parasal Risk: Riski azaltmak için gereken önlemlerin maliyetlerinin karşılaştırılması olduğu, R_M (Monetary Risk) olarak alındığı belirtildi. Ayrıca, marjinal maliyetin (Marginal Cost), 1 kişiyi kurtarmak için gerekli olan maliyeti belirttiği açıklandı.

Örnek: Yılda meydana gelen ölüm 0,1 adet ve 1 kişi için marjinal maliyet 5 Milyon Euro ise, dolayısıyla Risk=0,5 Milyon Euro/yıl olacağından, eşik değerlere bakılarak bu riskin kabul edilebilir veya edilemez olduğuna karar verildiği anlatıldı.

$$R_m = \sum_{i=1}^n p_i * C_i * \varphi(C_i) * \bar{w}_i$$

R_m ; Parasal Risk \bar{w}_i ; Marjinal maliyet

V. Referans Tünel: Ülkenin şartnamelerine, yönetmeliklerine, mevzuatına göre oluşturulmuş, güvenliği yeterli seviyede ve risk değerleri düşük olan "hayali tünel" olduğu, referans tünelin değerleri ile risk analiz yapılan gerçek tünelin değerlerinin kıyaslanarak değerlendirmelerin yapıldığı ve kararların verildiği anlatıldı. Ülkenin ilgili mevzuatında yer alan "risk tanımları" düzenlenerek referans tünelin tanımlandığı, dolayısıyla gerçek tünelin performans değerlendirmesinin bu kıyaslamalarla belirlendiği açıklandı.



Şekil-12: Referans Tünel ve Gerçek Tünel Kıyaslaması

Referans tünelin FN_R eğrisi ile gerçek tünele ait FN_G eğrisinin birbirine yakınlığına göre riskin ne kadar kabul edilebilir olduğuna karar verildiği, eğrilerin kesiştiği noktalarda ise yorum yapmakta zorlanılabildiği ifade edildi.

Genel olarak, referans tünelin eğrisi üzerinde oluşan analizi yapılan tünele ait FN_G eğrisinin uygun görülmediği, bu durumda tünel için önlemler geliştirilerek FN_G eğrisinin tekrar oluşturulduğu ve referans tünel eğrisinin altında kalmasının sağlandığı anlatıldı.

RİSK AZALTILMASI

Risk analizi ve risk incelemesinden sonra, elde edilen verilere göre tünelin sınıfının belirlenmesine yönelik kararların verilmesi aşamasında, tüneldeki güvenliğin artırılmasına yönelik ilave önlemler alınması gerekebileceği açıklandı. Riski azaltmaya yönelik bu önlemlerin risk analizi ve risk incelemesi esnasında da dikkate alınarak etkilerinin büyüklüğü, sistematik ve matematiksel olarak ortaya konulduğu için tünelde hangilerinin uygulanacağına "karar destek sistemi" yaklaşımı ile çok daha etkili değerlendirilebildiği belirtildi.

Buna göre, "tünellerde kaza olmaması" genel yaklaşımı içinde, kaza olasılığını azaltan ve Tablo-3'te gösterilen önlemlerin tünelin proje, yapım ve işletilmesi esnasında dikkate alınması gerektiği vurgulandı.

Örneğin, risk değerlendirmeleri esnasında kullanılan yazılıma veri olarak girilen tünel özelliklerinin riski nasıl etkilediği görülerek yeni projelendirilen bir tünelde dikkate alındığı ve riskin ilk aşamada azaltılabildiği belirtildi. Ayrıca, işletmeye açık tünellerde uygulanan işletme önlemleri ile kazaların azaltılabildiği de vurgulandı.

Tünel enkesitleri ve tasarımı	Hız Limiti
Tünel güzergahı	Sollama yasağı
Normal ve acil durum aydınlatması	Eskort aracı
Bakım	Taşıtlar arası mesafe
Yol yüzeyi	Taşıt Kontrolleri

Tablo-3: Kaza Olasılığını Azaltan Önlemler

Alınan önlemlere rağmen tünellerde meydana gelecek kazaların sonuçlarının en aza indirilmesinin de risk analizlerinde ve risk incelemelerinde önemle dikkate alındığı, Tablo-4'te gösterilen önlemlerin maliyet etkinlik prensibi ile değerlendirildiği ve bakım-işletme maliyetlerinin de önemli olduğu açıklandı.

Buna göre, "düşük maliyetli-yüksek etkili" önlemlerin ÇOK VERİMLİ olduğu, "yüksek maliyet-düşük etkili" önlemlerin ise VERİMLİ OLMADIĞI vurgulandı.

Kapalı devre izleme (CCTV) sistemi	Duman kontrolü
Otomatik trafik kazası algılama sistemi	Yangın koruma ekipmanları
Otomatik yangın algılama sistemi	Hasar yönetimi
Tünel görevlileri ve kullanıcılar için radyo yayını	Yangın söndürme ekipmanları
Otomatik araç tanıma sistemi	Kurtarma ekipleri
Acil yardım telefonları	Drenaj
Alarm işaretleri sinyalizasyonu	İlk yardım ve eylem planları
Anons sistemi	Yangına dayanıklı yapı
Acil çıkışlar	Patlamaya dayanıklı yapı
Araç kontrolleri	

Tablo-4: Kaza Sonuçlarını Hafifleten Önlemler

SONUÇ

Polonyalı uzman ve Kurumumuz personelinin katılımıyla gerçekleşen karayolu tünellerinin sınıflandırılması eğitimi, tehlikeli maddelerin tünellerden geçişine izin verilmesine yönelik sınıflandırma çalışmaları konularında Avrupa'daki değerlendirme yaklaşımlarının öğrenilmesi, uygulama örneklerinin görülmesi ve Kurumumuzun ülkemizdeki tüneller konusunda ilgili yönetmelikle [2] üstlendiği görevi yerine getirmesinde bir yol haritasının oluşturulması açısından çok yararlı olmuştur.

Ayrıca, 2004/54/EC sayılı AB Direktifinde [5] ele alınan Risk Analizi konusunun, tünellerin ADR'ye [1] göre sınıflandırılmasında da çok önemli olduğu, tünel güvenliği, tehlikeli madde geçişi, kazaların önlenmesi, riskin değerlendirilmesi, alınacak önlemlerin belirlenmesi, önlemlerin riski azaltmadaki etkinliği, verilecek kararları desteklemedeki önemi de görüldü.

Ülkemizin de taraf olduğu ADR Anlaşmasının ve müzakere süreciyle birlikte ülkemiz tünelleri için de uygulama zorunluluğu bulunan AB Direktifinin karar destek sisteminin bir parçası olan **RİSK ANALİZİ** kavramının, Kurumumuzca içselleştirilerek dünyadaki yaygın kullanım örnekleri de dikkate alınarak detaylı öğrenilmesi, personelimizin eğitilmesi, uygulama çalışmalarına ivedilikle başlanması, ülkemize özgü bir metodolojinin geliştirilmesi ve mevzuatının oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] "ADR VolumeI" ve "ADR VolumeII", [O:\KurumOrtak\KGM-AB-Calismalari\YARARLI DÖKÜMANLAR/ Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Avrupa Anlaşması ADR](#), Erişim Tarihi: 30.04.2015
- [2] "Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik", Resmi Gazete, 24.10.2013, sayı 28801
<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspix?MevzuatKod=7.5.18966&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>, Erişim tarihi: 30.04.2015
- [3] "TAIEX Hakkında Genel Bilgi", <http://www.abgs.gov.tr/index.php?p=42118&l=1> Erişim Tarihi: 30.04.2015
- [4] "Tunnel accident data and review of accident investigation methodologies", Mart 2005, sayfa 23,36, http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/projects/safet_d4_5_i.pdf, Erişim tarihi: 30.04.2015.
- [5] "2004-54-EC Sayılı Direktif", [O:\KurumOrtak\KGM-AB-Calismalari\MEVZUATLARIMIZ\SORUMLU OLDUĞUMUZ MEVZUATLAR\TAŞIMACILIK POLİTİKASI\Tünel Güvenlik Gereksinimleri](#), Erişim Tarihi: 30.04.2015
- [6] "ISO 31000-Risk Management", <http://www.iso.org/iso/home/standards/iso31000.htm>, Erişim tarihi: 04.05.2015
- [7] "Quantitative Risk Assessment Model for Dangerous Goods Transport through Road Tunnels", http://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-tunnels/qram_software/, Erişim tarihi: 08.05.2015.
- [8] "Risk Analysis for Road Tunnels", 2008, 245 sayfa, ISBN 2-84060-200-4, <http://www.piarc.org/en/order-library/5871-en-Risk%20analysis%20for%20road%20tunnels.htm>, Erişim Tarihi: 08.05.2015, [O:\KurumOrtak\KGM-AB-Calismalari\TAIEX Karayolu Tünellerinin Sınıflandırma 16-19 Mart 2015](#), Erişim tarihi: 08.05.2015