

Karayolu Projelerinin Tasarımında Karşılaşılan Risklerin Hata Türü Etkileri ve Pareto Analizleri Kullanılarak Belirlenmesi ve Arazi Ölçümleri ile Gerekli Önlemlerin Alınması

¹Eray CAN, ²Hikmet ERBIYIK, ³Yavuz DELİCE

¹Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, 77100, Yalova

²Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 77100, Yalova

³Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, 77100, Yalova

Özet

Günümüzde multidisipliner çalışmalar sonucu ortaya çıkan Karayolu projelerinin, özellikle son dönemlerdeki bilgisayar ve programlama dillerindeki gelişmelerin desteğiyle, tasarımlarının yapılması oldukça kolaylaşmıştır. Her ne kadar bu gelişmeler, karayolu projelerinin tasarımını kolaylaştırarak başarıya ulaştırırsa da, tasarım ile ortaya çıkan projelerin, uygulanması ve aplikasyonu sırasında da aynı başarıyı göstermesi; gerek projeye esas olan verilerde, gerekse bu verilerle oluşturulan tasarımlarda, olması muhtemel hata ve yetersizliklerden dolayı meydana gelen potansiyel risklerin önlenmesine bağlı olmaktadır.

Bu hata ve yetersizlikler sonucu oluşan potansiyel risklerin belirlenmesinin en kolay ve ideal yollarından biri de hata türü etkileri analizi (HTEA) ve Pareto analizlerinin yapılması olmaktadır. Bu risk analiz metodları, uygulanan projelerdeki ve sistemlerdeki hataların zarara dönüşmeden önce tespit edilebilmesi ve önemli olanlardan başlayarak risklerin ortadan kaldırılması ve kontrolü için kullanılan yöntemlerdir. Ayrıca diğer risk analizi yöntemlerinden farklı olarak kazaların önceden saptanabilirliğinin de değerlendirilmesini sağlar. Bu kapsamda bildiride karayolu projelerinin tasarımında karşılaşılan riskler belirlenmeye çalışılmış ve HTEA ile Pareto analizleri kullanılarak ortaya çıkan risklerin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Karayolu tasarımı, Mühendislik Ölçmeleri, Risk Analizi, Hata Türü Etkileri Analizi(HTEA), Pareto Analizi

1. Giriş

Karayolu tasarım ve uygulama projeleri birbirleriyle ilişkili faaliyetler bütünü olduğundan bu tür projelerin multi-disipliner ekip çalışmalarıyla ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu ekip çalışması içerisinde karayolu projesinin tasarımında öngörülen konum, boyut ve biçimde gerçekleştirilmesi ancak uygulanacak proje arazisinin topografyasına, mülkiyetine, yerüstü ve yeraltı arazi kullanım özelliklerine uyumunun sağlanması ile gerçekleşebilmektedir (Kuşcu ve Can 2007). Yine tasarımla oluşturulmuş bir karayolu projesinin uygulanmasında ve başarı ile sonlandırılmasında arazi özelliklerinin uyumu ile birlikte uygulama ortamındaki organizasyon, koordinasyon, planlama, sevk ve idare (yönetme), denetim-kontrol vb uyumlarının olması gerektiği bilinmektedir (Kuşcu 2006). Karayolu projelerinin tasarımı ve uygulanmasında bahsedilen bu uyumların denetlenmesi, risk analizlerinin yapılması ve önceden kestirilebilmesi de projenin başarıyla sonuçlanması için büyük önem taşımaktadır. Yapılan bu denetleme ve kontroller projede yaşanacak büyük ekonomik ve finansal kayıplarında önceden önüne geçilmesi açısından ayrıca önem arz etmektedir.

Projeler için yapılan kontrollerin ve risk analizlerinin sistematik olarak birçok yöntemle gerçekleştirilmesi mümkün olup bu çalışmada karayolu projeleri için bunlardan Hata türü etkileri analizi (HTEA) ve Pareto analizleri seçilmiştir. Bu yöntemde bir karayolu projesinin tasarımında hangi risk ve problemlerle karşılaşılabilineceği saptanmaya çalışılmış ve saptanan bu risk ve problemlere mesleki deneyimlerden faydalanılarak çözüm öneriler getirilmeye çalışılmıştır.

HTEA (Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)) geniş bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir. (Chin vd.2009, Liu vd.2013, Wang vd. 2009) Bu teknik genellikle projenin tasarım aşamasında yapıldığı gibi yapım sürecinde de gerçekleştirilebilmektedir. Ancak tasarım aşamasında yapılması daha da doğru olmaktadır. Çünkü bir proje süresinde tespit edilen olası uygunsuzluklar nedeniyle düzeltme / iyileştirme yapmak için harcanacak kaynakların maliyeti, ancak tasarım aşamasındayken en düşük şekilde gerçekleşmektedir. HTEA sonucunda alınacak önlemler en düşük maliyetle ancak tasarım aşamasındayken gerçekleştirilebilmektedir. Tasarımdan sonraki aşamalarda yapılacak her değişiklik, maliyetlerde kat kat artışa sebep olabilmektedir.

Bu yöntemde olasılık ve şiddet faktörünün yanı sıra saptanabilirlik çarpanının eklenmesi bu tekniğin önemli bir farkını oluşturmaktadır. HTEA çalışmasında belirlenen bütün hatalar için olasılık, şiddet ve saptanabilirlik tahminleri yapılmaktadır. Tahminlerin sonucunda çıkarılan büyük risklerin öncelikli ele alınması ile çözümler üretmeyi sağlamaktadır. Bu sistemin yararları

- Ürün ya da projenin kalitesini, güvenilirliğini ve emniyetini geliştirmek,
- Müşteri tatmininin artırılmasına yardımcı olmak,
- Ürün ya da proje geliştirme süresi ve maliyetini azaltmak

* E-posta: can.era@hotmail.com (ERAY CAN), hkerbiyik@gmail.com (Hikmet ERBIYIK), ydelice@gmail.com (Yavuz DELİCE)

- Tasarım veya süreç geliştirme faaliyetlerinin önceliklerinin belirlenmesini sağlamak.
- Bütün ürün/süreç için potansiyel hata türlerini ve onların etkilerini göz önüne almayı sağlayan benzerlikleri ortaya çıkartmak.
- Tasarım gereksinimleri ve alternatiflerinin analizinde yardımcı olmak.
- Potansiyel kritik ve önemli karakteristiklerin tanımlanmasına yardımcı olmak,
- Yeni imalat ya da proje adımlarının analiz edilmesine yardım etmek.
- Hata önlemek için bir ortam oluşmasını sağlamak.
- Düzeltici faaliyetlerin belirlenmesini sağlamak
- Riski azaltacak faaliyetleri belgelendirmek ve izlemek

şeklinde sıralanabilmektedir.

2.HTEA Öğeleri ve Pareto Analizi

HTEA çalışmalarında seçilen projeye bağlı olarak uygun bir ekibin belirlenmesi gereklidir. Çünkü bu projede oluşabilecek problemlerin tanımlanması ve risk öncelik sayılarının (RÖS) belirlenebilmesi bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Aynı zamanda ekip, görevleri ve birimleri farklı kişilerden oluşmalıdır. FMEA ekibinde yer alan kişilerin meslek ve görevleri HTEA yapabilecek düzeyde olmalıdır.

Proje tasarımları sırasında HTEA analizini oluşturan hatalar belirli bir sistem ve formül içerisinde ele alınmaktadır. Bununla birlikte bu analizde risk ve hataların önceliklerini belirlemek için 3 ana unsur bulunmaktadır. Bunlar;

- Meydana gelme olasılığı (Occurance)
- Şiddet ya da Ağırlık (Severity)
- Saptama ya da Keşfedilebilirlik (Detection)

şeklinde ifade edilmektedir (Akın 1998, Chin vd. 2009,Su vd.2012, Xiao vd.2011).

Bu bileşenlerden meydana gelme olasılığı, hatanın sıklığını; şiddet ya da ağırlık, hatanın ciddiyetini (etkisini); saptama ya da keşfedilebilirlik ise zararı meydana getiren durumun keşfedilmesindeki zorluk derecesini göstermektedir. Bununla birlikte bu bileşenin bir diğer önemi de hatanın meydana gelmeden önce tespit edilebilme yeteneğini temsil etmektedir. Bu bileşenlerin değerlerini belirlemede pek çok yöntem mevcuttur. Fakat alışılmış yöntem, nümerik gösterge çizelgelerinin (risk ölçüt tablosunun) kullanılmasıdır. Yukarıda bahsi geçen bu üç risk faktörü bileşenleri, birlikte değerlendirildiğinde her bir hata türü veya nedeni için risk öncelik sayısını (RÖS) oluşturmaktadır ve bu sayı, kritiklik sayısı göstergesini ifade etmektedir (Su vd. 2012, Liu vd.2013). RÖS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılık olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınmaktadır. Her bir hata türü için riskler tanımlandığından en büyük RÖS değerine sahip olandan başlayarak kısa dönemde bu risklerin en aza indirilmesi amaçlanmakta uzun dönemde ise bunların ortadan kaldırılması için düzeltici önlemlerin ele alınmasına çalışılmaktadır. HTEA için RÖS değerleri, Olasılık (O), Ağırlık (A) ve Saptama (S) değerlerinin çarpılması ile bulunur (Akın 1998, Chin vd. 2009,Su vd.2012, Xiao vd.2011).

$$RÖS = O \text{ (Olasılık)} * A \text{ (Ağırlık)} * S \text{ (Saptama)} \quad (1)$$

Hesaplama kullanılan olasılık, ağırlık ve saptanabilirlik değerlerinin seçimi için kullanılan referans tablolar aşağıda verilmiştir. Tablo 1 projelerde hatanın ortaya çıkma sıklığını ve derecesini (Olasılık-O) göstermektedir.

Tablo 1. Hatanın Ortaya çıkma Sıklığı ve Derecesi (Olasılık-O) (Akın1998, Su vd. 2012 Xiao 2011,)

Hatanın oluşma sıklığı	Hatanın olasılığı	Derece
Çok Yüksek: Kaçınılmaz Hata	½ ‘den fazla	10
	1/3	9
Yüksek: Tekrar Eden Hata	1/8	8
	1/20	7
Orta: Ara Sıra Olan Hata	1/80	6
	1/400	5
Düşük: Nispeten Olan Hata	1/2000	4
	1/15000	3
Pek az: Olası Olmayan Hata	1/150000	2
	1/150000 ‘ den düşük	1

Tablo 2 RÖS değerinin hesaplanmasında ağırlık ya da şiddet etkisinin sınıflandırılmasını (A), Tablo 3 ise Saptanabilirlik (S) derecesini göstermektedir. Tablo 4 de Risk öncelik sayısı (RÖS) değerlendirme tablosu gösterilmektedir.

Tablo 2. Ağırlığın etkisinin Sınıflandırılması (A)(Akın 1998)

Etki	Ağırlığın (Şiddet)Etkisi	Derece
Uyarısız Gelen Yüksek tehlike	Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	10
Uyarısız Gelen Tehlike	Yüksek hasara yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	9
Çok Yüksek	Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara sebep olabilecek hata türü	8
Yüksek	Ekipmanın tamamen hasar görmesine neden olan ve ölüme, zehirlenme, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü	7
Orta	Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata	6
Düşük	Sistemde az bir etkiye sahip kırık, kalıcı küçük iş görmezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip hata	5
Çok Düşük	Sistemde yada projede çok hafif etkiye sahip İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler vb. hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata	4
Küçük	Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata	3
Çok Küçük	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata	2
Yok	Etki yok	1

Tablo 3. RÖS değerinin hesaplanmasında Saptanabilirlik (S) derecesi(Akın 1998)

Saptanabilirlik	Saptanabilirliğin Olasılığı	Derece
Fark Edilemez	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği mümkün değil	10
Çok Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok uzak	9
Az	Potansiyel hatanın nedeni uzak	8
Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği orta	5
Yüksek Ortalama	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği yüksek ortalama	4
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği yüksek	3
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok yüksek	2
Hemen hemen kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği hemen hemen kesin	1

Tablo 4. Risk Öncelik Sayısı (RÖS) Değerlendirme Tablosu(Akın 1998)

RÖS Değeri	Önlem
RÖS<40	Önlem almaya gerek yok.
40≤ RÖS ≤100	Orta risk önlem alınabilir.
RÖS >100	Önlem alınması gereken yüksek risk

RÖS değeri HTEA analizlerinde hataların öncelik derecelendirilmesini yaparak, iyileştirme çalışmalarında öncelikle ele alınması gereken hataların belirlenmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte hataların öncelikli olarak derecelendirilmesini sağlamakta ve projelerde değerlendirme sonrasında HTEA analizleri için bulunan RÖS değerleri iyileştirme çalışmasını yapan kişilere iyi bir yol gösterici olmaktadır.

Pareto analizi ise belirlenen risklerin öncelik sıralamasının belirlenmesinde yardımcı olan bir analiz türü olup belirlenen bir risk ya da problemin proje içindeki bütün riskler arasındaki yüzdelik sırasını ve önem sırasını belirlemek için kullanılmaktadır (URL-1). Ayrıca belirlen risk eşik değerine göre proje için kümülatif risk toplamının oluşmasını sağlayarak hangi risklerin eşik değerinin altında ya da üstünde olduğunu görmemize ve önlemler almamıza yardımcı olan bir risk analizi türü olmaktadır.

3. Karayolu projelerinin tasarımında HTEA ve Pareto analizlerinin uygulanması

Karayolu projelerinde güzergah tasarımı ya da uygulanması sırasında karşılaşılan problem ve potansiyel risklerin çözümü için bu projelerin her aşamasında (Karayolu tasarım projeleri için yapılan kadaströ ve halihazır harita yapım süreçleri, kamulaştırma süreçleri, idari süreçler, karayolu güzergah tasarım projelerinde güzergahlar için ana planların oluşturulma süreçleri ve tasarım projelerinde detaylandırılmış projelerin oluşturulma ve uygulama süreçleri vb.) risk analizlerinin yapılması gereklidir. Bu analiz ve kontroller tasarlanan uygulanan projelerin sağlıklı olarak ilerlemesini sağlamaktadır. Ek 1 de karayolu projelerinin tasarımı ve uygulama çalışmalarında karşılaşılan potansiyel riskler, hata türü ve etkileri analizi (HTEA) yöntemiyle ve RÖS katsayıları deneyimlere göre hesaplanarak verilmektedir. Bu tabloda bu tür projelerdeki deneyimlere göre, kontrole konu ve risk faktörü oluşturabilecek olan 17 husus göz önüne alınmıştır. Bu 17 adet olarak belirlenen hata ve risk faktörlerinden hesaplanan RÖS katsayılarına göre 9 tanesi yüksek risk diğer 8 tanesi ise orta dereceli risk grubuna dahil olduğu saptanmıştır. Yapılan HTEA analizinde belirlenen yüksek ve orta dereceli risklerin risk değerlerinin düşmesi için de alınması gereken önlemler mesleki deneyimler ve yönetmelikler baz alınarak belirtilmiş ve bu önlemlerin alınmasıyla beraber yapılacak karayolu projelerinde RÖS katsayıların düşmesi planlanmıştır. Böylelikle projedeki yüksek ve orta dereceli riskler ortadan kalkarak bu projelerin sağlıklı bir şekilde ilerlemesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada HTEA analizine ek olarak genelde %75-%80 kritik eşik risk değerini baz alan pareto analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamada, kritik eşik risk değeri olarak %75 seçilmiştir. Gerçekleştirilen Pareto analiziyle karayolu projelerinde tasarlanırken ve uygulanırken oluşabilecek olan hata ve risk faktörlerinin önem derecesine göre sıralanması sağlanmış ve her bir hatanın ya da risk faktörünün gösterdiği % değeri hesaplanmış olmaktadır. Yapılan pareto analizine ait bilgiler Tablo 5’de, bu analizin grafiği ise Şekil 1’de verilmektedir. Bu analizler yüksek risk değerlerine göre sırasıyla incelendiğinde

1. Karayolu tasarım projelerinin hazırlanmasında yol geometrisindeki dizayn ve hesaplama hatalarından kaynaklanan risk ve problemler (Dever hesabı ve yatay-düşey kurp parametrelerinin yanlış hesaplanması, geçiş eğrileri ve görüş mesafesindeki hesap ve dizayn hataları, hatalı ve ondülasyonlu yol geometrik tasarımları vb.) **(Proses No:R110)**
2. Detaylandırılmış proje tasarımı ve uygulanması sırasında topografik, jeodezik ya da fotogrametriden yararlanılmış ise bu ölçülerden kaynaklanan hata ve riskler **(Proses No:R170)**
3. Karayolu projesi tasarımında topografik uyum problemleri ile karşılaşılmaması **(Proses No:R90)**
4. Proje tasarımı için yapılan halihazır harita üretimlerinde yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler **(Proses No:R20)**
5. Detaylandırılmış projelerde karayolu tasarımı için yol geometrik unsurlarından kaynaklanan hatalar **(Proses No:R140)**
6. Proje tasarımında proje bütçesini aşan maliyetlerden oluşan riskler ve problemler **(Proses No:R100)**
7. Proje tasarımı için yapılan kadaströ ölçümlerinde ve planlamalarında yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler **(Proses No:R10)**
8. Projelerin detaylı olarak tasarlanma sürecinde güzergahın geçtiği arazinin jeolojik ve jeofiziksel olarak uygunsuz özellikler taşıması (deprem bölgeleri, heyelan bölgeleri, erozyon bölgeleri vb.) **(Proses No:R130)**
9. Detaylandırılmış karayolu projesi tasarımında ve uygulanmasında ortaya çıkabilecek olan doğal afetlerin tahmin edilememesinden kaynaklanan risk ve hatalar **(Proses No:R160)**

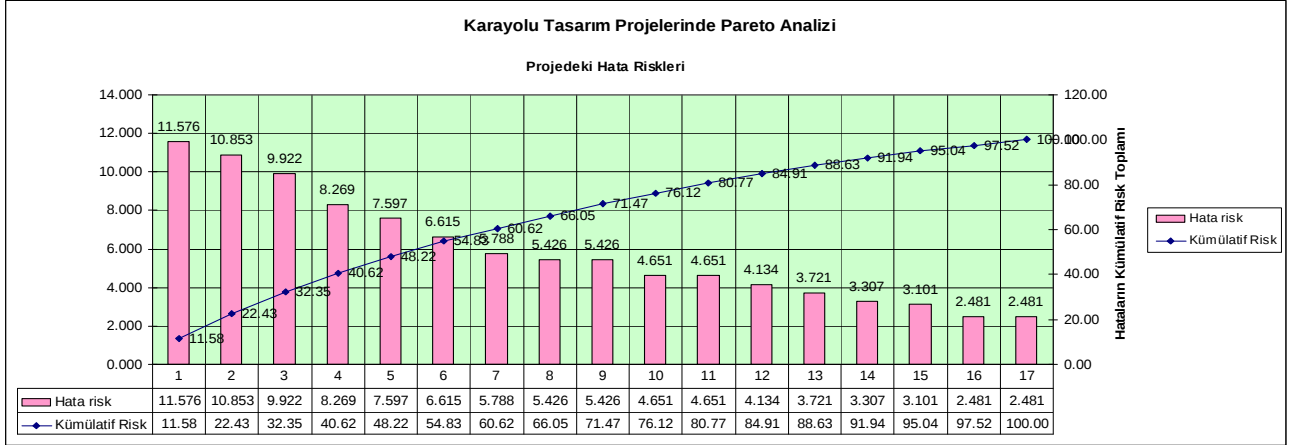
olarak sayılan risk ve hataların yüksek dereceli risk grubu olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yüksek riskli hata kaynaklarını kendi arasında pareto analizindeki %75 eşik risk değerine göre tekrar değerlendirdiğimiz de ise ilk 5 hata kaynağının ön plana çıktığı görülmektedir. Bu analize ait değerler ise Tablo 6 da, bu analiz ile ilgili grafik ise Şekil 2 de verilmektedir.

Tablo 5 Karayolu Tasarım ve Uygulama Projelerinde Yüksek ve Orta Risk İhtiva Eden Hataların Pareto Analizi ile %75 Eşik Değerine Göre Kümülatif Olarak İncelenmesi

KARAYOLU TASARIM PROJELERİNDE PARETO TABLOSU						
SIRA NO	HATA ŞEKLİ	PROSES NO	ROS DEĞERİ	RISK(%)	KUMULATİF RISK %	RISK
1	Karayolu tasarım projelerinin hazırlanmasında yol geometrisindeki dizayn ve hesaplama hatalarından kaynaklanan risk ve problemler (Dever hesabı ve yatay-düşey karp parametrelerinin yanlış hesaplanması, geçiş eğnileri ve görüş mesafesindeki hesap ve dizayn hataları, hatalı ve ondülasyonlu yol geometri tasarımları vb.) (R110)	110	224	11.576	11.58	YÜKSEK RİSK
2	Detaylandırılmış proje tasarımı ve uygulanması sırasında topografik, jeodezik ya da fotogrametriden yararlanılmış ise bu ölçülerden kaynaklanan hata ve riskler (R170)	170	210	10.853	22.43	YÜKSEK RİSK
3	Karayolu projesi tasarımında topografik uyum problemleri ile karşılaşılması(R90)	90	192	9.922	32.35	YÜKSEK RİSK
4	Proje tasarımı için yapılan hahihazır harita üretimlerinde yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler(R20)	20	160	8.269	40.62	YÜKSEK RİSK
5	Detaylandırılmış projelerde karayolu tasarımı için yol geometrik unsurlarından kaynaklanan hatalar (R140)	140	147	7.597	48.22	YÜKSEK RİSK
6	Proje tasarımında proje bütçesini aşan maliyetlerden oluşan riskler ve problemler(R100)	100	128	6.615	54.83	YÜKSEK RİSK
7	Proje tasarımı için yapılan kadaströ ölçümlerinde ve planlamalarında yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler (R10)	10	112	5.788	60.62	YÜKSEK RİSK
8	Projelerin detaylı olarak tasarlanma sürecinde güzergahın geçtiği arazinin jeolojik ve jeofiziksel olarak uygunsuz özellikler taşıması (deprem bölgeleri, heyelan bölgeleri, erozyon bölgeleri vb.)(R130)	130	105	5.426	66.05	YÜKSEK RİSK
9	Detaylandırılmış karayolu projesi tasarımında ve uygulanmasında ortaya çıkabilecek olan doğal afetlerin tahmin edilememesinden kaynaklanan risk ve hatalar(R160)	160	105	5.426	71.47	YÜKSEK RİSK
10	Karayolu projesi tasarlanırken yol güzergahının olumsuz iklim koşulları taşıyan bölgelerden geçmesi ve böylelikle yolculuk konforunu tehlikeye atması(R80)	80	90	4.651	76.12	ORTA RİSK
11	Projenin tasarımıyla ilgili olarak kamulaştırma kapsamında proje bütçesini aşan maliyetlerden kaynaklanan riskler(R40)	40	90	4.651	80.77	ORTA RİSK
12	Karayolu projesi tasarımı sırasında güzergahla ilgili olarak arazinin kullanımı ile karşılaşılan problemler ve kısıtlamalar (güzergahın üzerinde bulunan orman alanların ya da tarım alanlarının olması gibi)(R70)	70	80	4.134	84.91	ORTA RİSK
13	Karayolu tasarım projeleri gerçekleştirilirken doğal hayatın etkilenmesinden kaynaklanan risk ve hatalar(R120)	120	72	3.721	88.63	ORTA RİSK
14	Detaylandırılmış proje yapımlarında projeyi yapan birimlerin karar almasındaki uyumsuzluklardan oluşan riskler(R150)	150	64	3.307	91.94	ORTA RİSK
15	Tasarım sırasında yasal mevzuata uyumsuzluklar sebebiyle izinlerin gecikmesi ve izinlerin engellenmesi(R60)	60	60	3.101	95.04	ORTA RİSK
16	Tasarımı gerçekleştiren alt ve üst birimler arasındaki onaylı iş emirlerinin gecikmesiyle ortaya çıkan finansal kayıp riskleri ve problemleri(R50)	50	48	2.481	97.52	ORTA RİSK
17	Proje tasarımındaki kamulaştırma süresince, iş emirlerinin ve de onaylarının gecikmesinden kaynaklanabilecek finansal kayıplarla ilgili riskler(R30)	30	48	2.481	100.00	ORTA RİSK
		Toplam	1935			

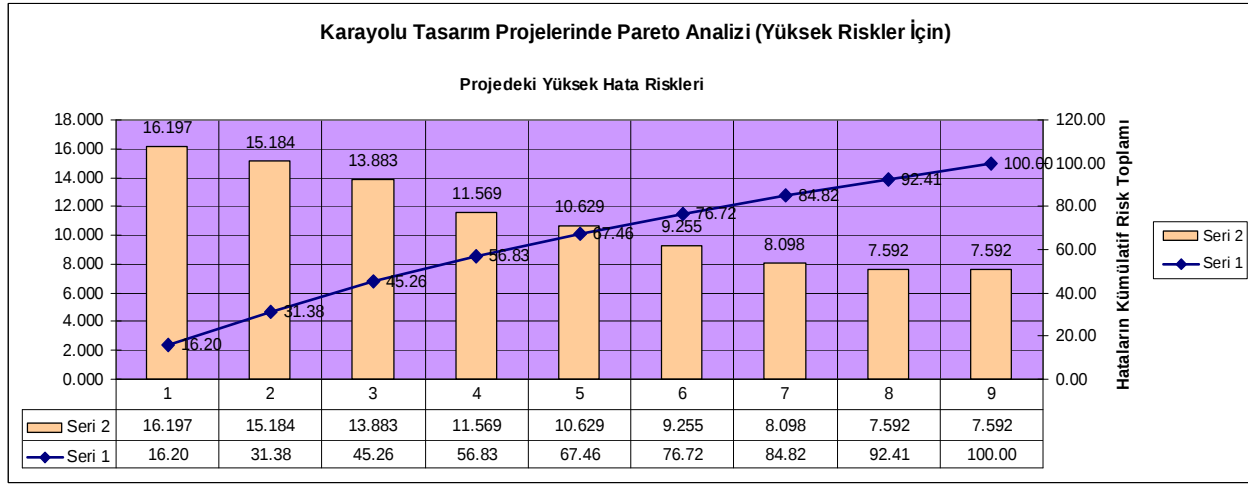
Şekil 1 Karayolu Tasarım ve Uygulama Projelerinde Yüksek ve Orta Risk İhtiva Eden Hataların Pareto Analizine Göre Grafik Gösterimi



Tablo 6 Karayolu Tasarım ve Uygulama Projelerinde Yüksek Risk İhtiva Eden Hataların Pareto Analizi ile %75 Eşik Değerine Göre Kümülatif Olarak İncelenmesi

KARAYOLU TASARIM PROJELERİNDE PARETO TABLOSU (YÜKSEK RİSKLER İÇİN)						
SIRA NO	HATA ŞEKLİ	PROSES NO	RÖS DEĞERİ	RİSK(%)	KÜMÜLATİF RİSK %	RİSK
1	Karayolu tasarım projelerinin hazırlanmasında yol geometrisindeki dizayn ve hesaplama hatalarından kaynaklanan risk ve problemler (Dever hesabı ve yatay-düşey karp parametrelerinin yanlış hesaplanması, geçiş eğrileri ve görüş mesafesindeki hesap ve dizayn hataları, hatalı ve ondülasyonlu yol geometri tasarımları vb.) (R110)	110	224	16.197	16.20	YÜKSEK RİSK
2	Detaylandırılmış proje tasarımı ve uygulanması sırasında topografik, jeodezik ya da fotogrametriden yararlanılmış ise bu ölçülerden kaynaklanan hata ve riskler (R170)	170	210	15.184	31.38	YÜKSEK RİSK
3	Karayolu projesi tasarımında topografik uyum problemleri ile karşılaşılması(R90)	90	192	13.883	45.26	YÜKSEK RİSK
4	Proje tasarımı için yapılan hahihazır harita üretimlerinde yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler(R20)	20	160	11.569	56.83	YÜKSEK RİSK
5	Detaylandırılmış projelerde karayolu tasarımı için yol geometrik unsurlarından kaynaklanan hatalar (R140)	140	147	10.629	67.46	YÜKSEK RİSK
6	Proje tasarımında proje bütçesini aşan maliyetlerden oluşan riskler ve problemler(R100)	100	128	9.255	76.72	YÜKSEK RİSK
7	Proje tasarımı için yapılan kadaströ ölçümlerinde ve planlamalarında yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler (R10)	10	112	8.098	84.82	YÜKSEK RİSK
8	Projelerin detaylı olarak tasarlanma sürecinde güzergahın geçtiği arazinin jeolojik ve jeofiziksel olarak uygunsuz özellikler taşıması (deprem bölgeleri, heyelan bölgeleri, erozyon bölgeleri vb.) (R130)	130	105	7.592	92.41	YÜKSEK RİSK
9	Detaylandırılmış karayolu projesi tasarımında ve uygulanmasında ortaya çıkabilecek olan doğal afetlerin tahmin edilememesinden kaynaklanan risk ve hatalar(R160)	160	105	7.592	100.00	YÜKSEK RİSK
	Toplam		1383			

Şekil 2 Karayolu Tasarım ve Uygulama Projelerinde Yüksek Risk İhtiva Eden Hataların Pareto Analizine Göre Grafik Gösterimi



4.Sonuçlar

Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA) (Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)) ve Pareto analizleri geniş bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik güçlü analiz teknikleridir. Bu teknikler genellikle projenin tasarım aşamasında yapıldığı gibi yapım sürecinde de gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu analizlerin projelerin tasarım aşamasında yapılması daha da doğru olmaktadır. Çünkü bir proje süresinde tespit edilen olası uygunsuzluklar nedeniyle düzeltme/iyileştirme yapmak için harcanacak kaynakların maliyeti, ancak tasarım aşamasındayken en düşük şekilde gerçekleşebilmektedir. Hata türü etkileri ve Pareto analizleri sonucunda alınacak önlemler en düşük maliyetle, ancak tasarım aşamasındayken gerçekleştirilebilmektedir. Tasarımdan sonraki aşamalarda yapılacak her değişiklik, maliyetlerde kat kat artışa sebep olabilmektedir.

Bir karayolu projesinin tasarım, uygulama ve işletme aşamalarında bir çok risk ve hatalarla karşılaşılması ve bu hataların bir çok hata analiz metodları ile incelenmesi muhtemel olup bu çalışmada, bu tür projelerde sık olarak rastlanan risk ve hatalar üzerinde HTEA ve Pareto analizleri yapılarak durulmaya çalışılmıştır. Yine bu çalışmada, ortaya çıkan risk ve hatalar için, mesleki deneyimlere ve yönetmeliklere göre gerekli önlemler alınmaya çalışılarak karayolu projelerinin başarıya daha sağlam bir şekilde ve sorunların en aza indirgenerek ulaşması hedeflenmiştir.

Kaynaklar

- Akın B.,(1998). *ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* Bilim Teknik Yayınevi, 182s, İstanbul
- Chin, K.S., Wang, Y.M., Poon, G.K.K., Yang J.B.(2009), *Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach*, Computers & Operations Research, 36 pp. 1768–1779
- Kuşçu, Ş., (2006). *Mühendislik için Proje Yönetimi (Ders Notu)* Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak
- Kuşçu, Ş., Can, E., (2007). *Coğrafi Tabanlı Mühendislik Projelerinde Konumsal ve Geometrik Kontrolün Yeri ve Önemi*, HKMO Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 24–26 Ekim 2007, Selçuk Üniversitesi – Konya
- Liu, H.-C., Liu, L., Liu, N., (2013) *Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A Literature Review*, Expert Systems with Applications,40(2), pp.828-838
- Su, X., Deng, Y., Mahadevan, S., Bao, Q., (2012) *An Improved Method For Risk Evaluation in Failure Modes and Effects Analysis of Aircraft Engine Rotor Blades*, Engineering Failure Analysis, 26, pp.164-174
- Wang, Y.-M.,Chin, K.-S.,Poon, G. K. K.,Yang, J.-B. (2009) *Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Weighted Geometric Mean*, Expert Systems with Applications,36(2) Part 1 pp.1195-1207
- Xiao, N., Huang, H.-Z., Li, Y., He, L., Jin, T., (2011) *Multiple Failure Modes Analysis And Weighted Risk Priority Number Evaluation in FMEA*, Engineering Failure Analysis, 18(4) pp.1162-1170
- URL 1 Pareto Diyagramı, http://tr.wikipedia.org/wiki/Pareto_diyagram%C4%B1 , [Erişim Mart 2016]

Ek 1: Karayolu Tasarım Projelerinde Karşılaşılan Hata ve Risklerin Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA) İle İncelenmesi

KARAYOLU TASARIM PROJELERİNDE KARŞILAŞILAN RİSKLER (HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZ FORMU HTEA)															Doküman adı:HTEA FORMU YIL 2015		
RISK = OLASILIK * ŞİDDET * TESPİT EDİLEBİLİRLİK																	
Proses Adımı	OLASILIK		ŞİDDET				TESPİT EDİLEBİLİRLİK				RÖS DEĞERİ (Risk Öncelik Sayısı)						
	1-2 Pek az		1-2 Çok hafif				1. Kesin 2.Çok yüksek				RÖS<40 Önlem almaya gerek yok. DÜŞÜK RISK						
	3-4 Düşük		3-4 Hafif				3. Yüksek 4.Yüksek Ortalama				40≤ RÖS ≤100Önlem alınabilir ORTA RISK						
	5-6 orta		5-6 Orta				5. Orta 6.Düşük seviye				RÖS >100 Önlem alınması gereklidir. YÜKSEK RISK						
	7-8 Yüksek		7-8 Ciddi				7. Çok Düşük 8. Az Seviye										
	9-10 Çok yüksek		9-10 Çok ciddi				9.Çok az seviye 10. Fark edilemez										
	HATANIN POTANSİYEL NEDENLERİ			RISK DEĞERLENDİRMESİ					KONTROL ÖNLEMİ			SORUMLULUK		RISK DEĞERLENDİRMESİ			
	Hata	Referans	Olasılık	Şiddet	Tespit Edilebilirlik	R.Ö.S	Önem					Olasılık	Şiddet	Tespit Edilebilirlik	R.Ö.S	Önem	
Karayolu Tasarım Projeleri için Yapılan Kadastro ve Halihazır Harita Yapım Süreçlerinde Ortaya Çıkan Riskler (E10)	Proje tasarımı için yapılan kadastro ölçümlerinde ve planlamalarında yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler (R10)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği	4	7	4	112	YÜKSEK RISK	Karayolu projelerinin tasarımı sürecinde ortaya çıkan kadastro hatalarının giderilmesi için yapılan ölçümler hata sınırlarını aşıyorsa arazide yapılan ölçümler tekrar edilmeli ayrıca,mevzuat yönetmelik ve hukusal süreçlere dikkat edilerek planlamalar tekrar gözden geçirilmelidir. Bununla birlikte proje için eldeki verilerde bilgi eksikliği yaşıyorsa gerekli kurum ve kuruluşlarla bağlantıya geçilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Harita Mühendisleri)	2	2	2	8	DÜŞÜK RISK			
	Proje tasarımı için yapılan halihazır harita üretimlerinde yapılan hatalardan kaynaklanan problemler ve riskler(R20)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği (BOHY)	5	8	4	160	YÜKSEK RISK	Karayolu projelerinin tasarımı sırasında halihazır haritaların üretilmesinden kaynaklanan hatalarda ölçüler hata sınırlarını aşıyorsa harita yönetmeliğine uygun olarak arazi ölçümleri tekrar edilmeli ayrıca jeodezik ağ yapısı tekrar gözden geçirilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Harita Mühendisleri)	2	2	2	8	DÜŞÜK RISK			
Karayolu Tasarım Projeleri için Yapılan Kamulaştırma Süreçleri için Belirlenen Riskler (E20)	Proje tasarımındaki kamulaştırma sürecinde, iş emirlerinin ve de onaylarının gecikmesinden kaynaklanabilecek finansal kayıplarla ilgili riskler(R30)	İdari şartnameler, yönetmelikler ve hukusal düzenlemeler	4	3	4	48	ORTA RISK	Tasarım ve uygulama esnasında ortaya çıkan idari ve hukusal hataların ve bozuklukların projenin üst düzey yönetim ekibi tarafından idari düzenlemelere ve hukuka uygun olarak düzeltilmesi yoluna gidilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Proje Yönetim Mühendisleri)	2	3	2	12	DÜŞÜK RISK			
	Projenin tasarımıyla ilgili olarak kamulaştırma kapsamında proje bütçesini aşan maliyetlerden kaynaklanan riskler(R40)	Kamulaştırma mevzuatı ile ilgili olarak idari şartnameler, yönetmelikler ve hukusal düzenlemeler	5	6	3	90	ORTA RISK	Proje ekibi tarafından kamulaştırma maliyetlerinin bütçenin izin verdiği ölçülerde gerçekleşmesi için gerekli önlemlerin alınması, mümkünse proje güzergahında değişikliğe gidilmesi ve gerekli kuruluşlarla işbirliği halinde çalışmalar yapılması gereklidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Harita Mühendisleri, Proje Yönetim Mühendisleri, Ulaştırma Mühendisleri)	3	2	2	12	DÜŞÜK RISK			
Karayolu Tasarım Projeleri Oluşturulurken İdari Süreçlerin Seyir Durumları için Belirlenen Riskler (E30)	Tasarımı gerçekleştiren alt ve üst birimler arasındaki onaylı iş emirlerinin gecikmesiyle ortaya çıkan finansal kayıp riskleri ve problemleri(R50)	İdari şartnameler ve yönetmelikler	4	3	4	48	ORTA RISK	Tasarım ve uygulama esnasında ortaya çıkan idari ve hukusal hataların ve bozuklukların projenin üst düzey yönetim ekibi tarafından idari düzenlemelere ve hukuka uygun olarak düzeltilmesi yoluna gidilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Proje Yönetim Mühendisleri)	2	2	2	8	DÜŞÜK RISK			
	Tasarım sırasında yasal mevzuata uyumsuzluklar sebebiyle izinlerin gecikmesi ve izinlerin engellenmesi(R60)	İdari şartnameler, yönetmelikler, hukusal düzenlemeler, karayolu yapım bakım, onarım yönetmelikleri,	4	3	5	60	ORTA RISK	Tasarım ve uygulama esnasında ortaya çıkan idari ve hukusal hataların ve bozuklukların projenin üst düzey yönetim ekibi tarafından idari düzenlemelere ve hukuka uygun olarak düzeltilmesi yoluna gidilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Proje Yönetim Mühendisleri)	2	3	2	12	DÜŞÜK RISK			

Ek 1: Karayolu Tasarım Projelerinde Karşılaşılan Hata ve Risklerin Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA) İle İncelenmesi (Devam Ediyor.)

Karayolu Güzerghah Tasarım Projelerinde Güzerghahlar İçin Ana Planların Oluşturulma Süreci İçin Belirlenen Riskler (E40)	Karayolu proje tasarımı sırasında güzerghahla ilgili olarak arazinin kullanımı ile karşılaşılan problemler ve kısıtlamalar (güzerghah üzerinde bulunan oman alanların ya da tarım alanlarının olması gibi)(R76)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği, karayolu yapım bakım, onanım yönetmelikleri, teknik ve idari şartnameler, kamulaştırma ile ilgili kanun ve yönetmelikler American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	4	5	4	80	ORTA RİSK	Proje tasarımı esnasında güzerghahların belirlenmesi ile ilgili olarak arazi kullanım haritaları incelenmeli ve gerekli kurumlardan bilgiler alınmalı ayrıca haritası veya arazi kullanım envanteri bulunmayan bölgelerde bilgi sistemlerine dayalı haritalar yapılmalıdır. buna göre alternatif güzerghah belirlene çalışmaları yapılmalıdır.	Karayolu proje tasarım ekibi (Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi)	2	2	2	8	DÜŞÜK RİSK
	Karayolu proje tasarlanırken yol güzerghahının olumsuz iklim koşulları taşıyan bölgelerden geçmesi ve böylelikle yolculuk konforunu tehlikeye atması(R80)	Çevre Etki Değerlendirmesi yönetmeliği ve kararları vb.	5	6	3	90	ORTA RİSK	Proje tasarımında güzerghahın mümkün olduğunca iklim koşullarının elverişli bölgelerden geçerek iklim konusunda uzman kurum ve kuruluşlara çalışmaları yapılmalıdır.	Karayolu proje tasarım ekibi (Çevre Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi)	2	3	2	12	DÜŞÜK RİSK
	Karayolu proje tasarımı sırasında topografik uyum problemleri ile karşılaşılması(R80)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği, karayolu yapım bakım, onanım yönetmelikleri, teknik ve idari şartnameler, kamulaştırma ile ilgili kanun ve yönetmelikler American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	8	6	4	144	YÜKSEK RİSK	Güzerghah belirlene çalışmalarında topografik eşimlerin daha iyi anlaşılabilmesi ve hesaplanabilmesi için 1/500, 1/1000, 1/2000 ölçekli daha ayrıntılı çizen halihazır harita yapım çalışmalarının yapılması	Karayolu proje tasarım ekibi (Harita Mühendisi,)	2	3	3	18	DÜŞÜK RİSK
	Proje tasarımında proje bütçesini aşan maliyetlerden oluşan riskler ve problemler(R100)	Karayolu yapım bakım, onanım yönetmelikleri, teknik ve idari şartnameler, kamulaştırma ile ilgili kanun ve yönetmelikler American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	4	8	4	128	YÜKSEK RİSK	Proje tasarımında öngörülen finansman (gelir gider) ve girdi programlarında gelirler ve giderlerin malzeme ve donanımları aylık haftalık ve yıllık olarak tekrar ele alınmalıdır.	Karayolu proje tasarım ekibi (İnşaat Mühendisi, Proje Yönetim Mühendisleri)	2	3	2	12	DÜŞÜK RİSK
	Karayolu tasarım projelerinin hazırlanmasında yol geometrisindeki tasarım ve hesaplama hatalarından kaynaklanan risk ve problemler (Değer hesabı ve yatay-döşey karp parametrelerinin yanlış hesaplanması, geçiş eğrileri ve görüş mesafesindeki hesap ve tasarım hataları, hatalı ve orodilasyonlu yol geometri tasarımları vb.)(R110)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği, karayolu yapım bakım, onanım yönetmelikleri, teknik ve idari şartnameler, American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	7	8	4	224	YÜKSEK RİSK	Yol geometrisine ait parametreler (yatay-döşey karp parametreleri, deyer parametreleri, görüş mesafeleri, yatay döşey karp çalışmaları, yolun orodilasyon durumu vb) yönetmeliklere göre tekrar hesaplanmalı gerekiyorsa arazide jeodezik ölçümler gerçekleştirilmeli ve uygun özellikteki karayolu güzerghah tasarımı yapılmalıdır.	Karayolu proje tasarım ekibi (Ulaştırma Mühendisi, Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi)	3	3	3	27	DÜŞÜK RİSK
	Karayolu tasarım projeleri gerçekleştirilirken doğal hayatın etkilenmesinden kaynaklanan risk ve hataları(R120)	Çevre Etki Değerlendirmesi yönetmeliği ve kararları vb.	4	6	3	72	ORTA RİSK	Güzerghah belirlenmesi sırasında doğal yaşam (flora-fauna) konusunda bilgi sahibi olan kurumlara başlanıya geçilmeli ve bu konuda bilgiler alınarak güzerghah tasarımında yeni alternatif arayışları gerçekleştirilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Çevre Mühendisi,)	2	2	2	8	DÜŞÜK RİSK

Ek 1: Karayolu Tasarım Projelerinde Karşılaşılan Hata ve Risklerin Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA) İle İncelenmesi (Devam Ediyor.)

Karayolu Tasarım Projelerinde Detaylandırılmış Projelerin Oluşturulma ve uygulama Süreçleri (E50)	Projelerin detaylı olarak tasarlanma sürecinde güzergahın geçtiği arazinin jeolojik ve jeofiziksel olarak uygun/suz özellikler taşıması (deprem bölgeleri, heyelan bölgeleri, erozyon bölgeleri vb.)(R130)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği, karayolu yapım bakım,onarım yönetmelikleri,teknik ve idari şartnameler, American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	5	7	3	105	YÜKSEK RİSK	Detaylandırılmış proje tasarımı ve uygulamalarında jeolojik ve jeofiziksel olarak karayolu projesi için risk analizlerinin gerçekleştirilmesi ve ilgili kurumlardan bilgi alınması gereklidir. Bununla birlikte yapılabiliyorsa arazi iyileştirme çalışmaları ilgili yönetmeliklere göre yapılmalı ya da alternatif güzergahlar belirlenmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Jeoloji Mühendisi, Jeofizik Mühendisi)	2	2	3	12	DÜŞÜK RİSK
	Detaylandırılmış projelerde karayolu tasarımı için yol geometrik unsurlarından kaynaklanan hatalar(R140)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği, karayolu yapım bakım,onarım yönetmelikleri,teknik ve idari şartnameler, American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	7	7	3	147	YÜKSEK RİSK	Detaylandırılmış proje için yol geometrik unsurlarında yönetmeliklere uygun olarak düzenlemelerin yeniden yapılması ve gerekiyorsa jeodezik ya da fotogrametrik ölçümlerin tekrar gözden geçirilmesi gereklidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Ulaştırma Mühendisi,Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi)	3	3	3	27	DÜŞÜK RİSK
	Detaylandırılmış proje yapımında projeyi yapan birimlerin karar almadaki uyumsuzluklardan oluşan riskler(R150)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği, karayolu yapım bakım,onarım yönetmelikleri,teknik ve idari şartnameler, American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	4	4	4	64	ORTA RİSK	Proje için kararlar alınarak proje birimleri arasındaki karar almadaki uyumsuzluklar ilgili yönetmeliklere dayanılarak halledilme yoluna gidilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Ulaştırma Mühendisi,Harita Mühendisi, İnşaat Mühendisi, Proje yönetim mühendisleri)	2	2	2	8	DÜŞÜK RİSK
	Detaylandırılmış karayolu projesi tasarımı ve uygulanmasında ortaya çıkabilecek olan doğal afetlerin tahmin edilememesinden kaynaklı risk ve hatalar(R160)	Çevre Etki Değerlendirmesi yönetmeliği ve kararları, karayolu yapım bakım,onarım yönetmelikleri,teknik ve idari şartnameler, American Association of State Highway and Transportation Officials standards (AASHTO) vb.	5	7	3	105	YÜKSEK RİSK	Projenin bu aşamasında ilgili kurumlara ve bu konuda uzmanlığı bulunan kişilerle irtibat halinde olunmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır. (Afet Müdürlükleri vb) Ayrıca mümkün ise projenin belirli kısımlarında değişikliğe gidilmelidir.	Karayolu proje tasarım ekibi (Çevre Mühendisi,İnşaat Mühendisi, Ulaştırma Mühendisi,Jeoloji Mühendisi)	2	3	2	12	DÜŞÜK RİSK
	Detaylandırılmış proje tasarımı ve uygulanması sırasında topografik, jeodezik ya da fotogrametriden yararlanılmış ise bu ölçülerden kaynaklı hata ve riskler(R170)	Büyükölçekli haritaların yapım yönetmeliği	6	7	5	210	YÜKSEK RİSK	Projenin bu aşamasında kaynaklı hata ve riskleri önlemek amacıyla ölçü yapılan yerdeki yanlışları tespit edildiğinde ölçülerin tekrarlanması yoluna gidilmelidir. Bu ölçülerin yapılmasında hangi teknik kullanılıyorsa o teknikle uygun yönetmelik ve kuramlar dikkate alınmalıdır.	Karayolu proje tasarım ekibi (Ulaştırma Mühendisi,Harita Mühendisi,	2	3	2	12	DÜŞÜK RİSK