

Yeraltı Petrol Boru Hatlarının Güzergâh Seçiminde Yüze ve Çevre Koşulları Kaynaklı Risklerin HTEA, Pareto ve AHP Yöntemleri ile İncelenmesi

Hülya KESKİN ÇİTİROĞLU¹, Deniz ARCA^{2*}, Eray CAN³

Öz

Petrol, günümüzde kentlerin hızla gelişmesiyle, kömür gibi oldukça yoğun olarak kullanılan fosil enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Bu enerji kaynağının, yeraltından çıkarılmasından, kullanıma hazır hale gelmesine ve hatta lojistiğine kadar olan bütün işlemlerde disiplinler arası çalışma, planlama ve projelendirilme uygulamalarının yapılması gerekmektedir. Petrol'ün lojistiğinde ya da taşınmasında, petrol boru hattı projelerinin önemi oldukça büyük bir paya sahiptir. Özellikle bu tür projelerin oluşturulmasında, güzergâh seçimlerinin önemi daha da artmaktadır. Petrol yakıtının lojistiği için hazırlanmış olan güzergâh projelerinde topografik (yüzeysel), jeolojik, çevresel vb. unsurları göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu projelerin hazırlanması sırasında, bu unsurlara bağlı bazı hata ve risklerle karşılaşmak da mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada Hata Türü Etkileri Analizi (HTEA), Pareto ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemleri kullanılarak bu hata ve risklerin belirlenmesine çalışılmıştır. Yine bu hata ve riskler belirlenirken bu konu ile ilgili uzmanların literatürde belirtmiş oldukları risk ve hatalar da göz önüne alınarak bir çalışma ortaya konulmaya çalışılmış ve literatüre bu anlamda katkı verilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu yöntemler ile bulunan sonuçlar birbirleriyle de karşılaştırılmış ve sonuçlar grafiklerle desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Petrol Boru Hattı, Risk ve Hata Analizleri, Hata Türü Etkiler Analizleri (HTEA), Pareto, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).

Investigation of Possible Risks and Failures in Terms of Surface and Environmental Conditions in the Route Selection of Underground Oil Pipeline with FMEA, Pareto and AHP Methods

Abstract

With the rapid development of cities today, oil is common intensely operated fossil energy origin such as coal. Experts from various fields should come together and work, planning and projecting practices should be carried out interdisciplinary in all processes from extracting this energy source from underground to making it ready for use and even logistics. Oil pipeline projects have a significant share in the logistics or transportation of petroleum fuel. Especially in the creation of such projects, the importance of route choices is increasing. In route projects prepared for the logistics of petroleum fuel, topographical (superficial), geological, environmental, etc. have to considered. During the preparation of these projects, it may be possible to encounter some failures and risks arising from these factors. Mentioned risks and failures have explained by using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Pareto and Analytical Hierarchy Process (AHP) methods in the study. Again, while determining these failures and risks, a study was tried to be presented by taking into account the risks and failures stated by experts on this subject and it was purposed to help for literature of same content. Also, results found by these methods have measured with others and findings have supported by graphics.

Keywords: Underground Oil Pipeline, Risk and Failure Analysis, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Pareto, Analytic Hierarchy Process (AHP).

¹Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı, YİKOB, 09100, Aydın, Türkiye, keskinhc@yahoo.com

²Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 35360, Buca İzmir, Türkiye, deniz.arca@deu.edu.tr

³Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova, Türkiye, can.eray@hotmail.com

¹<https://orcid.org/0000-0002-2999-9570> ²<https://orcid.org/0000-0002-0439-4938> ³<https://orcid.org/0000-0002-8192-1703>

1. Giriş

Ülkelerin her alanda enerjiye olan ihtiyaçları son yıllarda giderek artmıştır. Sanayileşme ve teknolojinin hızlı gelişimine bağlı olarak enerji talebindeki artış, kentlerdeki yaşam kalitesinin de artmasıyla birlikte daha da fazla hale gelmiştir. Petrol, enerji ihtiyacını karşılayan önemli doğal ve fosil kaynakların başında gelmektedir. Petrol taşımacılığını da kapsayan tehlikeli madde taşımacılığı, gerek enerji temini ve taşımacılık uygulamalarının bir aksaklığa meydan vermeden sürdürülebilmesi ve gerekse de can ve mal güvenliğinin temini için önem sunan konulardan biri olmaktadır (Erdal, 2018). Teknik altyapı taşıma tesislerinden biri olan petrol boru hatlarının inşası için iyi bir planlama yapılması ve güzergâh seçimi büyük öneme sahiptir (Dey, 2003). Nakil güzergâhlarının tespiti ise farklı değişkenlerin bir arada analizini ve değerlendirilmesini gerektiren hassas bir süreçtir (Yıldırım ve Yomralıoğlu, 2013). Özellikle bu alanda kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yeraltı petrol boru hatlarına ait güzergâhların belirlenmesinde kullanılan çok kriterli analizlerin yapılmasında oldukça faydalı sonuçlar vermektedir. Petrol boru hattı güzergâhlarının belirlenmesi, pek çok farklı kurum ve farklı disiplinlerdeki teknik elemanların sorumluluk alanına girmektedir. Literatür çalışmalarında petrol boru hatlarının güzergâhlarında oluşabilecek risklerin tespit edilmesine yönelik Hata Ağacı Analizleri (FTA), Güçlü Zayıf Yönler, Fırsatlar Tehditler Analizi (SWOT), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) gibi çeşitli risk analizi çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Can (2019) çevresel rüzgâr enerjisi santrali projeleri için fotogrametrik izleme haritalarında kullanılan hava fotoğrafına dayalı risklerin analizi için HTEA ve Pareto yöntemlerini kullanmıştır. Kwast-Kotlarek ve Heldak (2019) yüksek basınçlı bir gaz boru hattının bölümleri için açık kazı ve yatay sondaj yöntemlerinin maliyetlerine karar vermek için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yönteminden AHP'yi kullanmışlardır. Dawotola ve ark. (2009) hata olasılığına ve hatanın sonuçlarına dayalı olarak optimum bir seçim stratejisi önererek petrol ve gaz boru hatlarının tasarım, yapım, inceleme ve bakım politikasını desteklemek için birleşik bir AHP ve HTA önermişlerdir. Yıldırım ve Yomralıoğlu (2013) doğalgaz iletim hattı güzergâhlarına etki eden faktörleri tespit ettikten sonra AHP kullanılarak faktörlerin ağırlıklarını hesapladıkları çalışmalarında en uygun güzergâh tespiti için CBS ve AHP'nin avantajlarını vurgulamışlardır. Macharia ve ark. (2015) AHP kullanılarak CBS tabanlı petrol boru hattı güzergâhı belirlemelerde farklı alanlardaki uzmanlardan görüş alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Işık (2018) çalışmasında, petrol nakliyesini temin eden iletim hatlarındaki metalik yapılarda, çevresel etkiler sebebiyle oluşan korozyona karşı alınabilecek önlemler üzerinde durmuştur. Savio ve Alpert (2008) petrol boru hattı risk değerlendirmesinin belirlenmesi için kontrol listesi sundukları çalışmalarında bu kontrol listesinin aynı zamanda Gaz Boru Hattı Risk Değerlendirmesi için de kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bir yeraltı boru hattı çalışması temel olarak güzergâh belirleme, inşaat ve işletme olmak üzere 3 ana

aşamadan oluşmaktadır. Güzergâh seçimi tüm projeyi etkileyeceği için en önemli bir aşamadır. Bu nedenle bu çalışmada yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçiminde yüzey ve çevre koşulları açısından karşılaşılabilecek olası riskler belirlenmiş ve bu olası risklere yönelik alınabilecek önlemler, konularında uzman kişilerin literatürde belirtmiş oldukları görüşleri de dikkate alınarak HTEA sistematüğinde incelenmiştir. Ayrıca araştırılan bu risklerin Pareto analizi kapsamında önem sıralaması yapılarak grafik incelemeleri de gerçekleştirilmiştir. Son olarak ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak bu riskler tekrar incelenmiş ve farklı yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılmaları yapılarak bu konuda literatüre katkı verilmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Analizde Kullanılan Risk Parametreleri

Petrol boru hatlarının inşası, iyi tasarlanmalı ve teknik yönergelere göre uygulanmalıdır. Bununla birlikte, çevresel uyumluluğu ve çevreyle ilgili riskleri değerlendirmek için genel olarak uygulanabilir kılavuzlar yoktur (Torretta ve ark., 2014). Bu nedenle yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi yürütülürken, yüzey ve çevre koşulları açısından oluşabilecek risklerden doğacak olumsuzlukların önceden tanımlanması amacıyla, harita/jeodezi ve fotogrametri/geomatik, jeoloji, inşaat, jeofizik, petrol ve doğalgaz, çevre, yazılım ve bilgisayar mühendisleri gibi petrol boru hatları konusunda bilgi sahibi kişilerin de literatürde yer alan fikirleri dikkate alınarak aşağıda muhtemel hata ve riskler belirlenmiştir.

- Proses No: B1-Güzergâh hattına ait haritalarının olmaması veya haritalarda eksiklik ve/veya yanlışlıkların bulunmasından kaynaklanan riskler (topoğrafik, jeoloji, yerleşim, bitki örtüsü vb.),
- Proses No: B2-Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında yapılan güzergâh belirleme çalışmalarında, analiz sürecinde yapılan hata ve riskler,
- Proses No: B3-Yeraltı boru hattı güzergâhının geçeceği arazide uygulanan topoğrafik ölçümlerdeki yapılan hatalar ile arazinin topoğrafik eğim ve bakı ile ilgili uygunsuzluklarından kaynaklanan riskler,
- Proses No: B4- Tasarımı gerçekleştiren alt ve üst birimler arasındaki onaylı iş emirlerinin gecikmesiyle ortaya çıkan finansal kayıp problemleri,
- Proses No: B5- Doğal afetler, heyelan potansiyeli, iklim koşulları, taşkın, tasman vb. tehlike analizlerinde yapılan hata ve riskler,
- Proses No: B6- Boru hattı güzergâhının yatay ve düşey geometrisine yönelik yapılan yanlış ölçüm ve projelendirmeden oluşan hata ve riskler,

- Proses No: B7- Arazi kullanımı kaynaklı kısıtlamalardan oluşan hatalar (ormanlık alanlar, tarım arazileri),
- Proses No: B8- Boru hatlarının geçeceği arazide yeraltı yapılarına yönelik ön etüt ve istikşaf çalışmalarının yapılmamasından oluşan riskler,
- Proses No: B9- Güzergâh seçimlerinde kamulaştırmada maliyet artışının iyi analiz edilmemesinden kaynaklanan hatalar,
- Proses No: B10- Jeolojik, jeofizik, jeoteknik, araştırmalarda yapılan hata ve riskler (zemin koşulları, sıvılaşma, aktif fay konumları, boru hattının fayları kesme durumu, karstik boşluk vb.).

2.2. HTEA, Pareto ve AHP Yöntemleri

Yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi projelerinde tespit edilen risklerin analizi için standart bir yöntem mevcut olmamakla birlikte, sağlıklı verilerin oluşturulması, standart karşılaştırma ölçütlerinin belirlenmesi ve literatürde kabul görmüş ve uygulama sonucunda başarılı olmuş risk analizi yöntemlerinin uygulanması büyük önem arz etmektedir. Yeraltı petrol boru hattı inşasında beklenmeyen birçok etkenle karşılaşılabilirdiğinden dolayı risk analizi, boru hattı inşasının zamanında bitirilebilmesi, projenin maliyetinin belirlenmiş düzeyde tutulması, çalışanların sağlıklı ortamda çalışması ve akışkan naklinin sürekliliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. HTEA, risklerin projeye zararı olmadan tespit edilerek alınması gereken önlemlerin bir an önce hayata geçirilmesi için kullanılan sistematik bir yöntemdir (Liu ve ark., 2013; Akın, 1998). HTEA, faktör sorunlarına odaklanır ve sorunları faktörün önemine göre çözüme prensibine sahiptir (Tsai ve ark., 2018). HTEA yöntemi uygulandığı projelerde iş kalemlerinin öncelik sıralamasını, risklerin ve etkilerinin belirlemesini ve hataların önüne geçilmesini sağlamaktadır. Bu amaçlarla projelerde risklerin ve hataların önceliklerini saptamak için hata veya riskin oluşma olasılığı (O) çok yüksek ile pek az olasılık değer skalası içinde sırasıyla 10 ile 1 arasında puanlanmaktadır (Akın, 1998; Su ve ark., 2012; Xiao ve ark., 2011). Hatanın şiddeti ya da ağırlığı (A) ise aniden gelen yüksek tehlike ile tehlike yok değer skalası içinde yine sırasıyla 10 ile 1 arasında puanlanmaktadır (Akın, 1998). Ek olarak hatanın saptanabilirliği (S) de fark edilemeyen hata ile hemen hemen kesin fark edilebilen hata değer skalası içinde, yine sırasıyla 10 ile 1 arasında puanlanmaktadır (Akın, 1998). Yapılması planlanan projede, olma olasılığı tespit edilen risklerin her biri için hesaplanması gereken Risk Öncelik Sayısı (RÖS), hata ve riskin oluşma olasılığı, şiddeti ve saptanabilirliğinin çarpımıyla hesaplanmaktadır (Liu ve ark., 2013; Wang ve ark., 2009; Akın, 1998; Xiao ve ark., 2011; Su ve ark., 2012). Hesaplanan RÖS değeri; 100 puandan büyükse önlem gerektiren yüksek risk, yine hesaplanan RÖS değeri; 40 ile 100 değeri arasında veya bu değerlere eşit önlem alınabilen orta risk, ek olarak

hesaplanan RÖS değeri; 40 puandan küçük ise önleme gerek olmayan hafif risk anlamına gelmektedir (Akin, 1998). RÖS, karşılaşılabilecek hata ve risklerden hangisinin öncelikli olarak üzerinde durulması gerektiğini belirlemede yardımcı olmasının yanında projenin hata ve risklerden arındırılmasına da yol göstermektedir.

Uygulanan analiz yöntemlerinden bir diğeri olan Pareto ise tespit edilen hata ve risklerin düzey değerlerine (genel oran: %20 ile %80=%100 olmakla birlikte %30 ile %70=%100, %40 ile %60=%100 oranları da olabilmektedir) bağlı olarak hata ve risklerin öncelik durumlarını ve önem derecelerini göstermektedir (Özcan, 2001). Örneğin %20 ile %80=%100 oranı için anlamı, 10 (toplam %100) riskten ilk 2 riskte (%20) %80 sınır risk değerinin oluşmasıdır. Bununla birlikte bu analiz hangi risklere daha fazla önem verilmesi gerektiğini de göstermektedir. Burada temel amaç, az sayıdaki risk faktörüyle problemlerin büyük çoğunluğunun temsil edilmesidir. Bu yöntemle projelerdeki en önemli olan ve problemlerin büyük bir yüzdesini oluşturan birkaç risk için, az bir maliyetle önlemler alınmakta ve projenin ilerlemesi zarar görmemektedir.

AHP ise belirlenen kriterlerin birbirleriyle kıyaslanmaları sayesinde her bir kriter ağırlığının tespit edilerek önem sıralamasının ortaya konmasında kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olup, karmaşık karar problemlerinin çözümünde oldukça etkilidir. ÇKKV yöntemleri, uygulayıcının farklı birçok kriterin etkisini göz önünde bulundurarak karar almasında destek olmaktadır (Yakıcı Ayan ve Perçin, 2012). ÇKKV yöntemi olan AHP'yi Thomas L. Saaty 1980 yılında geliştirmiş (Sarıçalı ve Kundakçı, 2016) olup bu yöntemin, karar süreçlerini öznel ve nesnel yaklaşımlarla değerlendirebilmesi uygulayıcılar tarafından ilgi görmesine neden olmuştur. AHP, problemi ayrıntılı olarak analiz ederek hiyerarşik yapıyı oluşturmakta (Polat, 2000), bu durum da bu yöntemi diğer ÇKKV yöntemleri içinde daha avantajlı hale getirmektedir (Min, 1994). Probleminin ayrıntılı olarak açıklanması ve sonrasında karar hiyerarşisinin oluşturulmasında uygulayıcıların/karar vericilerin/uzmanların bilgi ve deneyimlerinden faydalanılmaktadır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

AHP'nin pek çok çalışmada, çeşitli amaçlarla kullanıldığı sıklıkla görülmekte olup bu amaçlar uygun seçeneğin belirlenmesi, plan yapma ve geliştirme, kaynakların değerlendirilmesi, en uygun sıralamayı yapabilme, karar verme, kestirim yapma şeklinde sıralanabilir (Vaidya ve Kumar, 2006). Bunlara ek olarak, karmaşık yapı ve inşaat teknolojilerinin (Skibniewski ve Chao, 1992), çeşitli spor dallarında yer alan forvet mevkii oyuncularının (Sipahi ve Or, 2005), iş seçimi üzerinde etkili olan faktörlerin (Göktolga ve Gökalp, 2012), çeşitli amaçlarla yazılım seçiminin (Keçek ve Yıldırım, 2010; Lai ve ark., 2002) değerlendirilmesi, depolama alanı (Korpela ve Tuominen, 1996), kullanılacak alet ve makine (Lin ve Yang, 1996), tesis kurulum yeri (Yang ve Lee, 1997; Arca ve Keskin Citiroglu, 2020; Ömürbek ve ark., 2013), çalışacak personelin (Ünal, 2011) belirlenmesi, hedef pazarının tespiti (Toksarı, 2007), ve proje yönetimi (Al Harbi, 2001) gibi çeşitli uygulama alanlarını saymak mümkündür.

Karar verme probleminde karşılaşılan en temel sorun, ele alınan kriterlerin puanlamaları, önem sıraları ve ağırlıklarının tespit edilmesinde yapılacak hatalardır. ÇKKV süreçlerinde AHP, hiyerarşik yapısı sayesinde bu temel sorunu ortadan kaldırmaktadır (Özcan, 2008). Belirlenen kriterler arasında kurulan hiyerarşik yapıdan sonra ikili karşılaştırma matrisi oluşturulması aşaması gelmektedir. Belirlenen kriterlerin ikili karşılaştırmalarının gerçekleştirilmesinde, Saaty tarafından önerilen ve 1'den 9'a kadar önem derecesi ile bu önem derecelerine karşılık gelen eşit derece önemden aşırı yüksek öneme uzanan bir ölçekten yararlanılmaktadır (Saaty, 1980). Daha sonra kriter ağırlıklarının tespit edilmesi ve Tutarlılık Oranı (CR) hesaplamasının yapılması aşaması gelmektedir (Mutlu ve Sarı, 2017). CR'nin hesaplanabilmesi için öncelikle denklem (1)'de görülen Tutarlılık İndeksi (CI) değerinin bulunması gereklidir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

CR'nin tespitinde kullanılan bir diğer parametre olan Rastgele İndeks (RI) ise karar alternatiflerinin sayısına karşılık gelen bir değer olup Tablo 1'de görülmektedir (Saaty, 2013). CI'nin RI'ne bölünmesi ile de CR hesaplanmaktadır.

Hesaplanan CR, 0,10 değerinden fazla olduğunda karşılaştırma matrisinin tekrar ele alınması gereklidir. Hesaplanan CR, 0,10 değerinden düşük ise bu durum karar matrisinin doğruluğunu ispatlamaktadır.

Tablo 1. 15 Eleman için RI sayıları (Saaty, 2013).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

3. Bulgular

Yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçiminde topografya, eğim, zemin koşulları, bitki örtüsü, jeolojik ve jeoteknik yapı, depremsellik, doğal afetler, kanalizasyon, doğal gaz gibi diğer gömülü kamu hizmetleri ve kamulaştırma gibi yüzey ve çevre koşulları boru hatlarının güvenliğini ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkilediğinden dolayı en önemli kriterler arasında sayılmaktadırlar. Bununla birlikte, boru hattı güzergâhı boyunca yer alan arazinin güncel, detaylı ve hassas harita, plan ve kesitlerin bulunması, 3 boyutlu sayısal yükseklik modellerinin hazırlanması gereklidir. Bu çalışmanın ilk aşamasında, yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi yürütülürken yüzey ve çevre koşulları açısından oluşabilecek risklerden doğacak olumsuzlukların önceden tanımlanması amacıyla konu ile ilgili uzman kişilerin (harita/jeodezi ve fotogrametri/geomatik, jeoloji, inşaat, jeofizik, petrol

ve doğalgaz, çevre, yazılım ve bilgisayar mühendisleri vb.) literatürde belirtmiş oldukları görüşleri de gözetilerek ve araştırılarak bu aşamada hangi hata ve risklerle karşılaşıldığı ek düşüncelerle katılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan bu araştırma çalışmasında ilk aşamada 10 adet risk tespit edilmiştir. Belirlenen bu riskler bu konuda sahada çalışmış uzman niteliğinde olan kişi ve akademisyenlerin düşünceleri ile ayrıca literatürdeki konu ile ilgili araştırmalar sonrasında belirlenmiştir. İkinci aşamada belirlenen bu risklerden sonra yine bu uzman ve akademisyen görüşleri ile her bir hata ya da riskin bu tür projelerde oluşma olasılığının ne olduğu ve bu riskin oluşması halinde projeyi etkileme derecesi ya da şiddeti sorulmuştur. Sonrasında ise bu riskin bu tür projelerdeki saptanabilirliğinin uzmanlardan puanlandırılması istenmiştir.

Bu puanlandırmalarda İlk olarak projedeki hata veya riskin oluşma olasılığı (O) “çok yüksek” ile “pek az” olasılık değer skalası içinde sırasıyla 10 ile 1 arasında puanlandırılması istenmiştir. Yine risk ya da hatanın şiddeti (ağırlığı) (A) ise “aniden gelen yüksek tehlike” ile “tehlike yok” değer skalası içinde ve sırasıyla 10 ile 1 arasında puanlandırılması istenmiştir.

Ek olarak hatanın ya da riskin saptanabilirliği (S) de “fark edilemeyen hata” ile “hemen hemen kesin fark edilebilen hata” değer skalası içinde, yine sırasıyla 10 ile 1 arasında derecelendirilmesi konu ile ilgili uzmanlardan istenmiştir.

Yapılması planlanan bu tür projelerde oluşması muhtemel riskler için hesaplanan, Risk Öncelik Sayısı (RÖS) ise oluşması muhtemel bu hata ve risklerin; uzmanlar tarafından puanlandırılan ve derecelendirilen “olasılık”, “şiddet” ve “saptanabilirlik” etkenlerinin çarpımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan RÖS değeri; 100 puandan büyükse önlem gerektiren yüksek risk, yine hesaplanan RÖS değeri; 40 ile 100 değeri arasında veya bu değerlere eşit ise önlem alınabilen orta risk, ek olarak hesaplanan RÖS değeri; 40 puandan küçük ise önleme gerek olmayan hafif risk anlamına geldiği kabul edilmiştir.

Yine bu tür projelerde oluşması bu muhtemel bu riskler için alınması gereken önlemler, konu ile ilgili uzman ve akademisyen görüşleri ile literatür araştırmaları sonrasında oluşturulmuştur. Bu önlemler sonrasında bu hataların olasılık”, “şiddet” ve “saptanabilirlik etkilerinin uzmanlar tarafından tekrar puanlandırılması istenmiş ve RÖS sayısı tekrar hesaplanmış ve hesaplanan bu RÖS sayısının düşük risk grubuna karşılık geldiği görülmüştür. (Tablo 2).

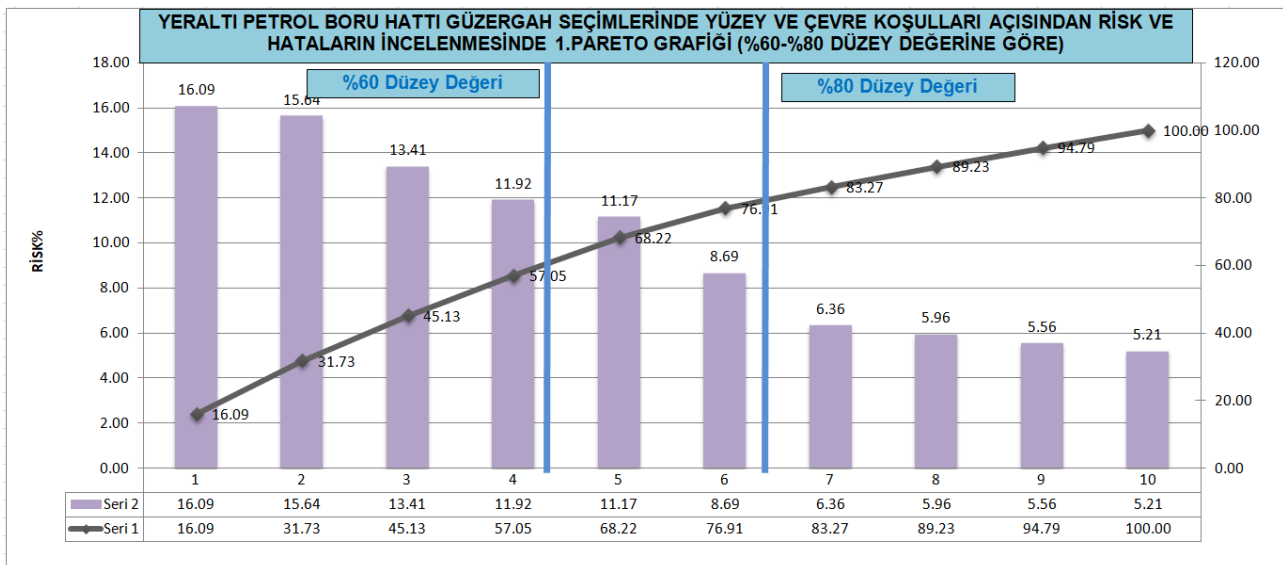
Tablo 2. Risklerin HTEA sistematğinde incelenmesi

TOPRAK ALTI PETROL BORU HATTI GÜZERGAH SEÇİMLERİNDE YÜZEY VE ÇEVRE KOŞULLARI AÇISINDAN RİSK VE HATALARIN FMEA YÖNTEMİNDE İNCELENMESİ										HTEA FORMU					
Proses Adımları	OLASILIK		ŞİDET		TESPİT EDİLEBİLİRLİK				ROS DEĞERİ (Risk Öncelik Sayısı)						
	1-2 Pek az	3-4 Düşük	1-2 Çok hafif	3-4 Hafif	1. Kesin	2. Çok yüksek	3. Yüksek	4. Yüksek Ortalama	ROS<40	Önem almaya gerek yok. DÜŞÜK RİSK	40< ROS <100	Önem alınabilir ORTA RİSK	ROS >100	Önem alınması gerekir. YÜKSEK RİSK	
	5-6 Orta	7-8 Yüksek	5-6 Orta	7-8 Ciddi	5. Orta	6. Düşük seviye	7. Çok Düşük 8. Az Seviye	9. Çok az seviye 10. Fark edilemez							
HATANIN POTANSİYEL NEDENLERİ		RİSK DEĞERLENDİRMESİ				KONTROL ONLEMİ				SORUMLULUK					
Hata		Referans	Olasılık	ŞİDET	Tespit Edilebilirlik	R.Ö.S	Önem					Olasılık	ŞİDET	Tespit Edilebilirlik	R.Ö.S
B.1	Güzergah hattına ait haritaların olmaması veya haritalarda eksiklik veya yanlışlıkların bulunmasından kaynaklanan riskler (topografik, jeoloji, yerleşim, bitki örtüsü vb.)	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği	7	9	5	315	YÜKSEK RİSK	Güzergah hattında haritalarda oluşacak olan hata ve eksiklikler yersel, hava fotoğrafı (fotogrametri) ya da uzaktan algılama sistemleri kullanılarak giderilmeli ve tamamlanmalıdır. Bu ölçümler Coğrafi Bilgi Sistemlerine uyumlu hale getirilmeli ve birçok veriyi içeren haritasal veriler birleştirme analizi kullanılarak bir bütün halinde değerlendirilmelidir. Topografik Ölçümler hata sınırları dışında kalıyorsa bu ölçümler arazide kontrol edilmeli ve tekrarlanmalıdır.	Harita, Geomatik Jeodezi ve Fotogrametri, Jeoloji Mühendisleri	4	2	4	32		
B.2	Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında yapılan güzergah belirleme çalışmalarında analiz sürecinde yapılan hata ve riskler	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği, Coğrafi Bilgi Sistemleri Standartları ve yönetmelikleri	3	7	5	105	YÜKSEK RİSK	Coğrafi Bilgi sistemi ortamında yapılan konumsal analizlerde kullanılan verilerin güncel, doğru ve hassas veriler olması konusunda kontroller yapılmalı ve yapılan konumsal analizler operatörler tarafından tekrar kontrol edilmelidir. Ayrıca sistemin doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir.	Harita Mühendisleri, Yazılım ve Bilgisayar Mühendisleri	2	2	3	12		
B.3	Toprak altı boru hattı güzergahının geçeceği arazide uygulanan topografik ölçümlerde yapılan hatalar ile arazinin topografik eğim ve baki ile ilgili uyumsuzluklarından kaynaklanan riskler	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği	6	9	6	324	YÜKSEK RİSK	Güzergah hattında topografik ölçümler kontrol edilmeli, gerekirse yenilenmelidir. Ayrıca arazinin 3 boyutlu sayısal yükseklik modelleri oluşturulmalı ve bu modeller üzerinden eğim ve baki hesaplamaları tekrar yapılmalıdır. Gerekirse Coğrafi bilgi sistemleri ortamında da bu analizler yapılmalı ve gerekli kontroller sağlanmalıdır. Eğimli bölgelerde öğren paletler kullanılmalıdır.	Harita, Geomatik Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisleri	3	3	4	36		
B.4	Tasarımı gerçekleştiren alt ve üst birmiler arasındaki onay iş emirlerinin gecikmesiyle ortaya çıkan finansal kayıp problemleri	İdari şartnameler ve yönetmelikler	3	8	5	120	YÜKSEK RİSK	Tasarımı ve uygulama esasında ortaya çıkan iletişimsel hataların ve bozuklukların projenin üst düzey yönetim ekibi tarafından idari düzenlemelere ve hukuka uygun olarak düzeltilmesi yoluna gidilmelidir.	Proje Yönetim Mühendisleri	3	2	4	24		
B.5	Doğal afetler, heyelan potansiyeli, iklim koşulları, taşkın, tasman vb. tehlike analizlerinde yapılan hata ve riskler	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği, Meteorolojik veri değerlendirilmesi ile ilgili yönetmelik ve düzenlemeler	5	9	5	225	YÜKSEK RİSK	Güzergah hattında periyodik GPS ve Nivelman Ölçüm çalışmaları yapılmalı ve yatay ile düşey yöndeki heyelan kaynaklı deformasyon, deplasman (birim yer değiştirme, uzama, kısalma, eğrilik vb.) hareketleri belirlenmelidir. Ayrıca güzergahın jeolojik topografik kesitleri incelenmeli ve ayrıntılı saha çalışmaları yapılmalıdır. Çevre drenajı yeterliliği kontrol edilmeli, yağışlardan dolayı sel oluşma riski hesaplanmalı, sel/taşkın potansiyeli yönünden risk taşıyorsa güzergah çalışmalarına devam edilmelidir. Şev kaymalarının varlığı halinde güzergah	Jeoloji ve Jeofizik, İnşaat, Harita, Geomatik Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisleri	3	3	3	27		
B.6	Boru hat güzergahının yatay ve düşey geometrisine yönelik yapılan yanlış ölçüm ve projelendirilmeden oluşan hata ve riskler	Boru hatları ile ilgili standart ve yönetmelikler, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği, Proje teknik ve idari şartnameleri ve ilgili yönetmelikler.	6	8	5	240	YÜKSEK RİSK	Her bir boru hattının projese uygun olarak doğru hizada olması, bitişik boru hatları için yanal mesafe kriterlerine uyumlu, topografya kaynaklı engellerden minimum offset kriterleri de sağlanarak kaçınılmazdır. Ayrıca, gerçek zamanlı olarak bir zemin gözlemi yapılmalı ve yatay ile düşey geometri uyumuna dikkat edilmelidir.	Harita, Geomatik Jeodezi ve Fotogrametri, Jeoloji, İnşaat, Petrol ve Doğalgaz Mühendisleri	2	4	4	32		
B.7	Arazi kullanımı kaynaklı kısıtlamalardan oluşan hatalar (ormanlık alanlar, tarım arazileri)	Boru hatları ile ilgili standart ve yönetmelikler, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği	4	7	4	112	YÜKSEK RİSK	Güzergah belirlemede arazi kullanım bilgileri toplanarak değerlendirilmeli ve gerektiğinde alternatif güzergahlar belirlenmelidir.	Proje yönetim mühendisleri (Harita, Geomatik Jeodezi ve Fotogrametri, Jeoloji, İnşaat Mühendisleri)	2	2	2	8		
B.8	Boru hatlarının geçeceği arazide toprak altı yapılarına yönelik ön etüt ve istikşaf çalışmalarının yapılmamasından oluşan riskler	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği, Şehir ve bölge planları	4	8	4	128	YÜKSEK RİSK	Güzergah boyunca farklı amaçlı tüm eski projeler ve planlar incelenmeli, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve jeofizik ya da yer radarı gibi yöntemlerle planları bulunmayan gömülü yapılar tespit edilmelidir. Toprak altı yapılarla zarar vermeden hat geçirilmeli, gerektiğinde güzergahda küçük değişiklikler yapılmalıdır.	Proje yönetim mühendisleri (Harita, Geomatik Jeodezi ve Fotogrametri, Jeoloji, Jeofizik, İnşaat, Çevre Mühendisleri)	2	2	3	12		
B.9	Güzergah seçimlerinde kamulaştırmada maliyet artışının iyi analiz edilmemesinden kaynaklanan hatalar	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerinin Üretim Yönetmeliği, Kamulaştırma ile ilgili kanun ve yönetmelikler	5	7	5	175	YÜKSEK RİSK	Güzergah seçimlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında kamulaştırma analizleri yapılmalı ve buna bağlı olarak güzergaha analizleri incelenmelidir.	Harita, Geomatik Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisleri, Mali uzmanlar	2	3	3	18		
B.10	Jeolojik, jeofizik, jeoteknik araştırmalarda yapılan hata ve riskler (zemin koşulları, sivilaşma, aktif fay konumları, boru hattının fayları kesme durumu, karstik boşluk, vb.)	Jeolojik harita, Jeoloji, jeofizik ve jeoteknik çalışmalar ile ilgili yönetmelik ve düzenlemeler	5	9	6	270	YÜKSEK RİSK	Güzergah hattının ve çevresinin stratigrafik, litolojik, jeolojik özellikleri, sınırsız ortamı açıklanmalı, harita ve kesitleri yapılmalı, araştırma çukuru ve jeofizik yöntemler kullanılarak gerekirse kuyu veya sondaj açılarak zemin ve yer altı durumu açıklanmalıdır. Laboratuvar testleri sonuçlarına göre zemin/toprak yapısı, özellikleri ve kimyasal yapısı ile yeraltı su seviyesi belirlenmelidir. Gerektiği durumlarda zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmalı, yeterli olmadığı durumlarda ise güzergah	Jeoloji, Jeofizik, İnşaat, Mühendisleri	3	4	3	36		

Üçüncü aşamada, belirlenmiş olan hata ve risklerin öncelik sıralarını belirleyebilmek için Pareto Analiz sistematığı uygulanmıştır. Uygulanan Pareto Analizine göre ilk alternatif olarak %20 ile %80=%100 kuralında projenin türüne, belirlenen risklere ve hesaplanan RÖS sayılarına göre pareto analizi oranlarından uygun olan (%40 ile %60=%100) oranları düşünüldüğünde; yeraltı petrol boru hattı güzergah seçimi projelerinde B3, B1, B10, B6 risklerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu alternatif ile yeraltı petrol boru hattı güzergah seçimi aşamasında belirlenen risklerin %40'ının, projedeki tüm problemlerin %60'ını oluşturduğu şeklinde yorum yapılabilmektedir (Tablo 3, Şekil 1). Bu alternatifte önemli olan toplamın %100 olmasıdır. Bu riskler kendi içinde yine bu oranlara göre ikinci bir pareto analizinde incelendiğinde ise B3, B1 risklerinin ön plana çıktığı görülmektedir (Tablo 4, Şekil 2).

Tablo 3. Risklerinin 1.Pareto sistematüğinde incelenmesi (%60 ve %80 sınır değerine göre) (Birinci ve İkinci Alternatif)

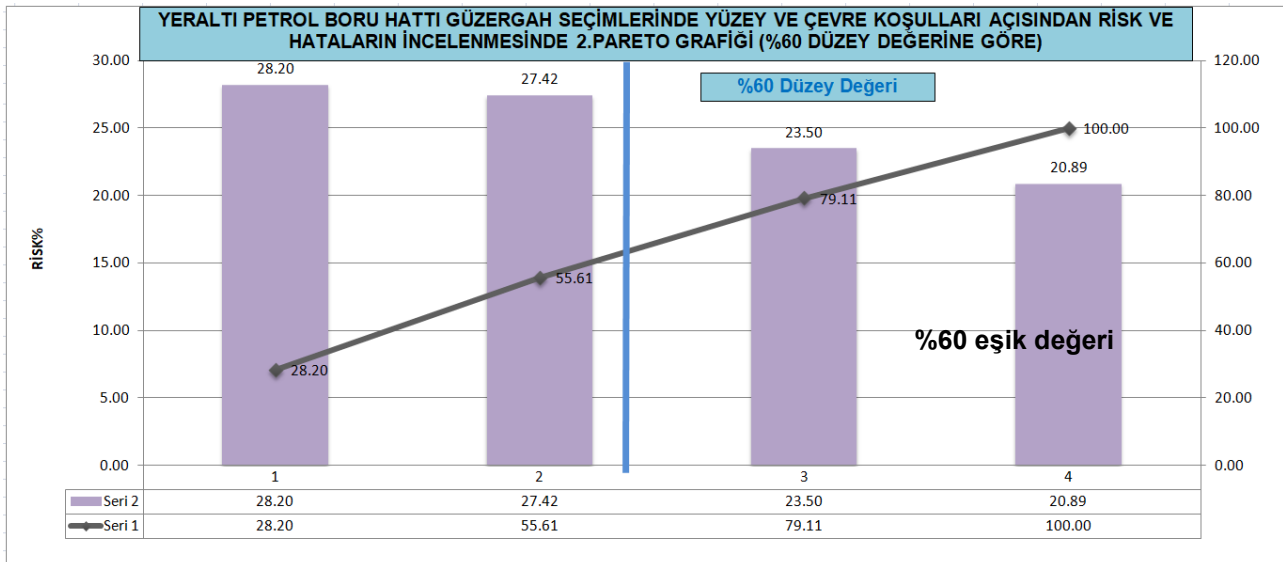
Yeraltı Petrol Boru Hattı Güzergah Seçimlerinde Yüze ve Çevre Koşulları Açısından Risk Ve Hataların 1.Pareto Analizinde İncelenmesi (%60-%80 Düzey Değerine Göre)						
Sıra No	Hata ya da Risk Şekli	Proses No	RÖS değeri	Risk %	Kümülatif Risk %	Risk
1	Yeraltı boru hattı güzergâhının geçeceği arazide uygulanan topografik ölçümlerdeki yapılan hatalar ve arazinin topografik eğim ve baki ilgili uygunsuzluklarından kaynaklanan riskler	B3	324	16.09	16.09	Yüksek Risk
2	Güzergah hattına ait haritalarının olmaması veya haritalarda eksiklik ve/veya yanlışlıkların bulunmasından kaynaklanan riskler (topografik, jeoloji, yerleşim, bitki örtüsü vb.)	B1	315	15.64	31.73	Yüksek Risk
3	Jeolojik, jeofizik, jeoteknik, araştırmalarda yapılan hata ve riskler (zemin koşulları, sıvılaşma, aktif fay konumları, boru hattının fayları kesme durumu, karstik boşluk, vb.)	B10	270	13.41	45.13	Yüksek Risk
4	Boru hat güzergâhının yatay ve düşey geometrisine yönelik yapılan yanlış ölçüm ve projelendirmeden oluşan hata ve riskler	B6	240	11.92	57.05	Yüksek Risk
5	Doğal afetler, heyelan potansiyeli, iklim koşulları, taşkın, tasman vb. tehlike analizlerinde yapılan hata ve riskler	B5	225	11.17	68.22	Yüksek Risk
6	Güzergâh seçimlerinde kamulaştırmada maliyet artışının iyi analiz edilmemesinden kaynaklanan hatalar	B9	175	8.69	76.91	Yüksek Risk
7	Boru hatlarının geçeceği arazide gömülü yeraltı yapılarına yönelik ön etüt ve istikşaf çalışmalarının yapılmamasından oluşan riskler	B8	128	6.36	83.27	Yüksek Risk
8	Tasarımı gerçekleştiren alt ve üst birimler arasındaki onaylı iş emirlerinin gecikmesiyle ortaya çıkan finansal kayıp problemleri	B4	120	5.96	89.23	Yüksek Risk
9	Arazi kullanımı kaynaklı kısıtlamalardan oluşan hatalar (ormanlık alanlar, tarım arazileri)	B7	112	5.56	94.79	Yüksek Risk
10	Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında yapılan güzergah belirleme çalışmalarında analiz sürecinde yapılan hata ve riskler	B2	105	5.21	100.00	Yüksek Risk

**Şekil 1.** Risklerinin 1. Pareto analizi grafiği (%60 ve %80 sınır değerine göre) (Birinci ve İkinci Alternatif)

Diğer bir alternatif olan ve Pareto Analizi için genel olarak tanımlanan %20 ile %80=%100 kuralında %80 riskin hangi risklere denk geldiği araştırılmıştır. Burada önemli olan ise %80 sınır değeri olmaktadır. Buna göre B3, B1, B10, B6, B5, B9 riskleri güzergâh seçimi aşamasında ön plana çıkmaktadır (Tablo 3, Şekil 1). Bu risk sayısını daha da azaltmak için bu alternatifteki 6 riski kendi içinde ikinci bir pareto analizi içinde incelediğimizde yine B3, B1, B10, B6 riskleri ön plana çıkmaktadır (Tablo 5, Şekil 3).

Tablo 4. Risklerinin 2.Pareto analizine göre incelenmesi (%60 sınır değerine göre, Birinci alternatif)

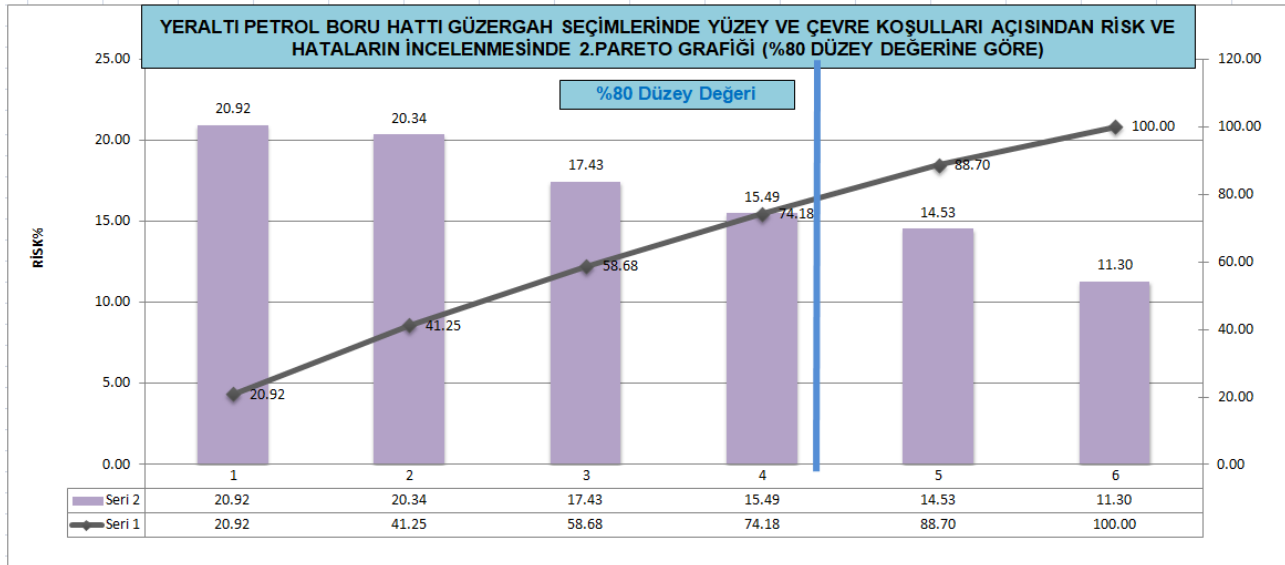
Yeraltı Petrol Boru Hattı Güzergah Seçimlerinde Yüze ve Çevre Koşulları Açısından Risk Ve Hataların 2.Pareto Analizinde İncelenmesi (%60 Düzey Değerine Göre)						
Sıra No	Hata ya da Risk Şekli	Proses No	RÖS değeri	Risk %	Kümülatif Risk %	Risk
1	Yeraltı boru hattı güzergâhının geçeceği arazide uygulanan topografik ölçümlerdeki yapılan hatalar ve arazinin topografik eğim ve bakı ilgili uygunsuzluklarından kaynaklanan riskler	B3	324	28.20	28.20	Yüksek Risk
2	Güzergah hattına ait haritalarının olmaması veya haritalarda eksiklik ve/veya yanlışlıkların bulunmasından kaynaklanan riskler (topografik, jeoloji, yerleşim, bitki örtüsü vb.)	B1	315	27.42	55.61	Yüksek Risk
3	Jeolojik, jeofizik, jeoteknik, araştırmalarda yapılan hata ve riskler (zemin koşulları, sıvılaşma, aktif fay konumları, boru hattının fayları kesme durumu, karstik boşluk, vb.)	B10	270	23.50	79.11	Yüksek Risk
4	Boru hat güzergâhının yatay ve düşey geometrisine yönelik yapılan yanlış ölçüm ve projelendirmeden oluşan hata ve riskler	B6	240	20.89	100.00	Yüksek Risk



Şekil 2. Risklerinin 2. Pareto analizi grafiği (%60 eşik değerine göre Birinci alternatif)

Tablo 5. Risklerinin 2.Pareto analizine göre incelenmesi (%80 sınır değerine göre, İkinci alternatif)

Yeraltı Petrol Boru Hattı Güzergâh Seçimlerinde Yüze ve Çevre Koşulları Açısından Risk Ve Hataların 2.Pareto Analizinde İncelenmesi (%80 Düzey Değerine Göre)						
Sıra No	Hata ya da Risk Şekli	Proses No	RÖS değeri	Risk %	Kümülatif Risk %	Risk
1	Yeraltı boru hattı güzergâhının geçeceği arazide uygulanan topografik ölçümlerdeki yapılan hatalar ve arazinin topografik eğim ve baki ilgili uygunsuzluklarından kaynaklanan riskler	B3	324	20.92	20.92	Yüksek Risk
2	Güzergâh hattına ait haritalarının olmaması veya haritalarda eksiklik ve/veya yanlışlıkların bulunmasından kaynaklanan riskler (topografik, jeoloji, yerleşim, bitki örtüsü vb.)	B1	315	20.34	41.25	Yüksek Risk
3	Jeolojik, jeofizik, jeoteknik, araştırmalarda yapılan hata ve riskler (zemin koşulları, sıvılaşma, aktif fay konumları, boru hattının fayları kesme durumu, karstik boşluk, vb.)	B10	270	17.43	58.68	Yüksek Risk
4	Boru hat güzergâhının yatay ve düşey geometrisine yönelik yapılan yanlış ölçüm ve projelendirmeden oluşan hata ve riskler	B6	240	15.49	74.18	Yüksek Risk
5	Doğal afetler, heyelan potansiyeli, iklim koşulları, taşkın, tasman vb. tehlike analizlerinde yapılan hata ve riskler	B5	225	14.53	88.70	Yüksek Risk
6	Güzergâh seçimlerinde kamulaştırmada maliyet artışının iyi analiz edilmemesinden kaynaklanan hatalar	B9	175	11.30	100.00	Yüksek Risk

**Şekil 3.** Risklerinin 2. pareto analizi grafiği (%80 sınır değerine göre İkinci alternatif)

Çalışmanın dördüncü aşamasında ise yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi aşamasında yüze ve çevre koşulları açısından olası risklerin her birinin, AHP kullanılarak oluşturulan karşılaştırma matrisi (Tablo 6) ile kriter ağırlığı (Tablo 7) hesaplanmıştır. AHP analizi sonucu hesaplanan ağırlık değerlerine göre faktörler sırasıyla B1, B3, B10, B6, B5, B2, B8, B7, B4 ve B9 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 6. İkili karşılaştırma matrisi

Parametre	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
B1	1	2	1	3	2	1	4	5	7	1
B2		1	1/2	2	1	1/2	1	2	3	1/2
B3			1	2	1	1/2	3	2	4	1
B4				1	1/2	2	1/2	½	2	1/2
B5					1	3	1	2	3	1
B6						1	2	1	2	1/2
B7							1	½	1	1/3
B8								1	2	1/2
B9									1	1/3
B10										1

Karşılaştırma matrisi ve ağırlıkların tutarlılık durumlarının tespiti için hesaplanan CR değerinin 0,09 olduğu belirlenmiştir. Bu değer, Saaty (2000) tarafından önerilmiş olan 0,10 değerinden küçük olması bu çalışmada oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi sonuçlarının birbirleriyle tutarlı olduklarını göstermektedir.

Tablo 7. Ağırlık matrisi

Parametre	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	Ağırlık
B1	0,17	0,16	0,12	0,17	0,18	0,08	0,22	0,31	0,25	0,15	0,18
B2	0,08	0,08	0,06	0,12	0,09	0,04	0,05	0,12	0,11	0,07	0,08
B3	0,17	0,16	0,12	0,12	0,09	0,04	0,16	0,12	0,13	0,15	0,13
B4	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,17	0,04	0,03	0,07	0,07	0,06
B5	0,08	0,08	0,12	0,12	0,09	0,26	0,05	0,12	0,11	0,15	0,12
B6	0,17	0,16	0,25	0,03	0,26	0,08	0,11	0,06	0,07	0,07	0,13
B7	0,04	0,08	0,05	0,12	0,09	0,04	0,05	0,03	0,03	0,06	0,06
B8	0,04	0,04	0,06	0,12	0,04	0,08	0,11	0,06	0,07	0,07	0,07
B9	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,06	0,04
B10	0,17	0,16	0,12	0,12	0,09	0,17	0,16	0,12	0,13	0,15	0,13
Ortalama											
Ağırlık	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

4. Sonuçlar

Yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi aşamasında güzergâhın geçeceği arazinin konumu, geometrisi ile jeolojik ve jeofiziksel koşullarının da belirlenmesi önemli bir konu olmaktadır. Bu

projelerde, harita, kesit ve jeolojik kesitlerin oluşturulmasında, güzergâhın geçeceği arazi ve yakın çevresinde gerçekleştirilen arazi gözlem ve çalışmaları, sondaj faaliyetleri, mühendislik ölçmeleri ve tüm bu çalışmaların önceki çalışmalarla birlikte değerlendirilmesinin payı oldukça büyüktür. Bu çalışmada, yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi aşamasında yüzey ve çevre koşulları açısından olası hata ve riskler HTEA, Pareto ve AHP sistematğinde araştırılmıştır. Ayrıca oluşan bu hata ve riskler ile bu risklere karşı alınması gereken tedbirler, konu ile ilgili uzman kişilerin de literatürde belirtmiş oldukları görüşleri dikkate alınarak ve bununla birlikte bu görüşlere de ek araştırmalar yapılarak belirlenmiştir. Yapılan HTEA analizi incelenmesi sonucunda yüksek risk grubunda yer alan hata ve riskler ile bu risklerin önlemleri belirlenmiş, sonrasında ise Pareto analizi yapılmıştır. Pareto analizinde ilk olarak %60 düzey değerine bağlı olarak B3, B1, B10 ve B6 proses numaralı 4 hata ve riskin önemli olduğu ve bu grupta yapılan 2. Pareto analizinde ise B3 ve B1 nolu risklerin ön plana çıktığı görülmüştür. Yine pareto analizinde %80 düzey değerine bağlı olarak inceleme yapıldığında B3, B1, B10, B6, B5 ve B9 proses numaralı 6 hata ve riskin yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi aşaması ile ilgili çalışmalar yapılırken daha çok dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmış ve sonrasında bu grupta yapılan 2. Pareto analizinde ise B3, B1, B10 ve B6 no'lu risklerin ön plana çıktığı görülmüştür. AHP ile yapılan analiz sonucunda ise risklerin B1, B3, B10, B6, B5, B2, B8, B7, B4 ve B9 proses numarası sırasında yer aldığı görülmüştür. Çalışmada yeraltı petrol boru hattı güzergâh seçimi aşaması yürütülürken, bu konudaki ilgili uzman kişilerin literatürde belirtmiş oldukları görüşleri de dikkate alınarak belirlenen hata ve risklerin, HTEA, Pareto ve AHP yöntemleriyle analizlerinin gerçekleştirilmesi ile bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında, B3, B1, B10 ve B6 proses numaralı hata ve risklerin uygulanan 3 yöntemde de dikkate alınması gerekliliği tespit edilmiştir. Bu durum yapılan tüm analiz sonuçlarının birbirleriyle oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir. Çalışmada uygulanan yöntemlerin birbiriyle uyumlu sonuçlar üretmesi, uzman kişilerin görüşlerinin güvenilirliğini göstermesi açısından da önem arz etmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile yeraltı petrol boru hattı projelerinin güzergâh seçiminde oluşması muhtemel riskler ve bu risklere karşı alınabilecek önlemlerle ilgili olarak, literatüre katkı sağlanmaya çalışılmış ve ayrıca HTEA, Pareto analizi ve AHP yöntemlerinin yeraltı petrol boru hatları güzergâh seçimi risk analizlerinin yapılmasında oldukça güçlü yöntemler olduğu gösterilmiştir.

Güzergâh belirleme çalışmalarında, projenin kendisine ve ortamın yapısına özgü hata ve risk faktörleriyle karşılaşılması nedeniyle bu çalışmanın konusu olan yeraltı güzergâhları dışında kalan denizaltı ve yüzey petrol boru hatlarının güzergâh seçiminde karşılaşması muhtemel risklerin ve alınabilecek önlemlerin başka çalışmaların konusu olarak araştırılması faydalı olacaktır.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Akın, B. (1998). *ISO 9000 uygulamasında ve işletmelerde hata türü ve etkileri analizi*. Bilim Teknik Yayınevi, 182s., İstanbul.
- Al Harbi, K.M. (2001). Application of AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19 (4): 19–27. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00038-1)
- Arca, D., Keskin Citiroglu, H. (2020). Geographical information systems-based analysis of site selection for wind power plants in Kozlu District (Zonguldak-NW Turkey) by multi-criteria decision analysis method. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1834030>
- Can, E. (2019). Analysis of risks that are based on the aerial photography used in photogrammetric monitoring maps for environmental wind power energy plant projects. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191,746. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7944-8>
- Dawotola, A.W., van Gelder, P.H.A.J.M., Vrijling, J.K. (2009). Risk Assessment of Petroleum Pipelines using a combined Analytical Hierarchy Process - Fault Tree Analysis (AHP-FTA). *Proceedings of the 7th International Probabilistic Workshop*, Delft, 491-501.
- Dey, P.K. (2003). Analytic hierarchy process analyzes risk of operating cross-country petroleum in India. *Natural Hazards Review*, 4(4):213-221. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:4\(213\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:4(213))
- Erdal, H. (2018). Tehlikeli madde taşımacılığı güzergâh seçimi problemi için stokastik bir risk analizi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(6):935-943. <http://dx.doi.org/10.18506/anemon.376269>
- Göktolga, Z., Gökcalp, B. (2012). İş seçimini etkileyen kriterlerin ve alternatiflerin AHP metodu ile belirlenmesi. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 13(2):71-86.
- Işık, H. (2018). Botaş ham petrol boru hatlarının incelenmesi ve rehabilitasyonu için sistem önerisi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi* 1(3):27-33.
- Kwast-Kotlarek, U., Heldak, M. (2019). Evaluation of the Construction and investment process of a high-pressure gas pipeline with use of the Trenchless Method and Open Excavation Method. Analytic Hierarchy Process (AHP). *Sustainability* 11(8):2438; <https://doi.org/10.3390/su11082438>
- Keçek, G., Yıldırım, E. (2010). Kurumsal kaynak planlama (ERP) sisteminin analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile seçimi: otomotiv sektöründe bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15 (1):193-211. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduibfd/issue/20828/223056>
- Korpela, J., Tuominen, M. (1996). A decision aid in warehouse site selection. *International Journal of Production Economics*, 45(1–3):169-180. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00135-2](https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00135-2)
- Kuruüzüm, A., Atsan, N. (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi*, 1:83-105. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/auibfd/issue/54587/744088>

- Lai, V.S., Wong, B.K., Cheung, W. (2002). Group decision making in a multiple criteria environment: a case using the AHP in software selection. *European Journal of Operational Research*, 137(1): 134–144. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00084-4)
- Lin, Z.C., Yang, C.B. (1996). Evaluation of machine selection by the AHP method. *Journal of Materials Processing Technology*, 57(3–4): 253–258. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)02076-4](https://doi.org/10.1016/0924-0136(95)02076-4)
- Liu, H.C., Liu L., Liu N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review, *Expert Systems with Applications*, 40:828-838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- Macharia, P.M., Mundia, C.N., Wathuo, M.W. (2015). Experts' responses comparison in a GIS-AHP oil pipeline route optimization: a statistical approach. *American Journal of Geographic Information System*, 4(2):53-63 <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20150402.01>
- Min, H. (1994). Location analysis of international consolidation terminal using the AHP. *Journal of Business Logistics*, 15(2):25-44. https://search.library.northwestern.edu/permalink/01NWU_INST/6rv399/cdi_proquest_journals_2126_03598
- Mutlu, M., Sarı, M. (2017). Çok kriterli karar verme yöntemleri ve madencilik sektöründe kullanımı. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 56(4):181-196. <http://www.mining.org.tr/tr/pub/issue/35230/391953>
- Ömürbek, N., Üstündağ, S., Helvacıoğlu, Ö.C. (2013). Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanımı: Isparta Bölgesi'nde bir uygulama. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 11(21):101-116. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/comuybd/issue/4102/54042>
- Özcan, H. (2008). *İstanbul'da Kentsel Yayılmanın Yapay Sınır Ağları ile Öngörülmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul, 67s.
- Özcan, S.(2001). İstatistiksel proses kontrol tekniklerinden pareto analizi ve çimento sanayiinde bir uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2(2):151-174.
- Polat, D.Ş. (2000). *Askeri helikopter alımı problemine analitik hiyerarşi metodu ile bir yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill, International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised, Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T.L. (2013). *Mathematical principles of decision making: the complete theory of the analytic hierarchy process*. USA: RWS Publications.
- Saaty, T.L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory*. 2. Edition, RWS Publications, Pittsburgh.
- Sarıçalı, G., Kundakcı, N. (2016). AHP Ve Copras yöntemleri ile otel alternatiflerinin değerlendirilmesi. *International review of Economics and Management*, 4 (1), 45-66. <https://doi.org/10.18825/irem.00736>
- Savio, A., Alpert, M.L. (2008). Hazard identification studies applied to oil pipelines. *Rio Oil & Gas Expo and Conference Proceedings*. Sept. 15-18. 9pp.
- Sipahi, S., Or, E. (2005). Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) tekniği ile forvet oyuncularının yetenek ve becerilerine göre değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Dergisi*, 50:53-65
- Skibniewski, M., Chao, L. (1992). Evaluation of advanced construction technology with AHP method. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(3):577-593. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1992\)118:3\(577\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:3(577))
- 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*, 26:164-174. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.07.009>
- Toksarı, M. (2007). Analitik hiyerarşi prosesi yaklaşımı kullanılarak mobilya sektörü için Ege Bölgesi'nde hedef pazarın belirlenmesi. *Yönetim ve Ekonomi*, 14(1):171-180. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yonveek/issue/13686/165626>
- Torretta, V., Raboni, M., Copelli, S., Capodaglio, A.G. (2014). A theoretical approach of a New Index-Based Methodology for risk assessment of pipelines (I). *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(10):2643-2652. <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.295>
- Tsai, S.B., Yu, J., Ma, L., Luo, F., Zhou, J., Chen, Q., Xu, L. (2018). A study on solving the production process problems of the photovoltaic cell industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:3546–3553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.105>
- Ünal, Ö.F. (2011). Analitik hiyerarşi prosesi ve personel seçimi alanında uygulamaları. *Akdeniz Üniversitesi Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 3(2):18-38. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uaifd/issue/21592/231845>

- Vaidya, O., S., Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169:1–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- 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*, 36:1195-1207, 2009.
- 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*, 18:1162-1170. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.02.004>
- Yakıcı Ayan, T., Perçin, S. (2012). Ar-Ge projelerinin seçiminde grup kararına dayalı bulanık karar verme yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(2):237-255. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniiibd/issue/2705/35539>
- Yang, J., Lee, H. (1997). An AHP decision model for facility location selection. *Facilities*, 15 (9/10): 241–254. <https://doi.org/10.1108/02632779710178785>
- Yıldırım, V., Yomralıoğlu, T. (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile çizgisel mühendislik yapılarında güzergâh optimizasyonu: Doğalgaz iletim hattı örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 13(1):1-10. <https://doi.org/10.5578/fmbd.5433>