BULANIK FİNE-KİNNEY YÖNTEMİYLE RİSK DEĞERLENDİRMESİ UYGULAMASI

Babak Daneshvar ROUYENDEGH (B ERDEBİLLİ)[1*], Lütfü GÜR[2]

[1]Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara
ORCID No : https://orcid.org/0000-0001-8860-3903
[2]Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
ORCID No : https://orcid.org/0000-0002-2011-6751

Anahtar Kelimeler
Baraj Güvenliği
Risk Değerlendirmesi
Bulanık Mantık
Fine-Kinney
Bulanık Fine-Kinney

Öz

Barajlar ülkelerin en önemli kritik altyapılarından bir tanesidir. Barajlar içme suyu, sulama suyu, hidroelektrik enerji sağlamakta ve ayrıca baraj gölleri balıkçılık ve su sporlarında kullanılmaktadır. Ekonomik önemi ve büyük yapılar olmaları, onları tehditlere karşı daha savunmasız hale getirir. Bu çalışmada, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan bir baraj için 8 (sekiz) adet insan yapımı veya doğal olarak meydana gelebilecek afetler(siber saldırı, terörist saldırısı, sabotaj, yangın, elektrik kesintisi, sel felaketi, deprem ve heyelan) baraj güvenliğinden sorumlu güvenlik müdürü, baraj koruma bölük komutanı ve barajda görevli bir mühendis yardımıyla tespit edilmiştir. Daha sonra risklere ait olasılık, frekans ve şiddet değerleri tespit edilerek Fine-Kinney ve Bulanık Fine-Kinney yöntemleriyle risklere ait iki farklı risk skoru hesaplanmış ve bunlar karşılaştırılmıştır. Risk ortamının belirsiz olması ve Fine-Kinney yöntemine göre daha hassas sonuçlar vermesi sebebiyle Bulanık Fine-Kinney yönteminin kullanılmasının daha doğru sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda terörist saldırısı, deprem ve heyelanın seçilen baraj için en önemli riskler olduğu tespit edilmiştir.

APPLICATION OF RISK ASSESSMENT WITH FUZZY FINE-KINNEY METHOD

Keywords
Dam Safety
Risk Assessment
Fuzzy Logic
Fine-Kinney
Fuzzy Fine-Kinney

Abstract

Dams are one of the most important critical infrastructures of any country. They provide potable water supply, irrigation water, hydroelectric power and also dam lakes are used fishing and water sports. Economical importance and being large structures make them more vulnerable to threats. In this study, for a dam in Turkey's Eastern Anatolia Region 8(eight) man made or natural disasters(cyber attack, terrorist attack, sabotage, fire disaster, power failure, flood disaster, earthquake and landslide) were determined with the help of the dam security manager, the commander of the dam protection company and an engineer working at the dam and with the help of these people, the probability, frequency and severity values of the risks were determined and two different risk scores were calculated using the Fine-Kinney and Fuzzy Fine-Kinney Methods and these results were compared. It has been determined that using the Fuzzy Fine-Kinney method will give more accurate results since the risk environment is uncertain and gives more sensitive results than the Fine-Kinney method. As a result of the study, it was determined that terrorist attack, earthquake and landslide are the most important risks for the dam.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 14.02.2020	Submission Date	: 14.02.2020
Kabul Tarihi	: 08.04.2020	Accepted Date	: 08.04.2020

*Sorumlu yazar; e-posta : berdebilli@ybu.edu.tr

1. Giriş

Elektrik üretmek için dünyada en çok kullanılan yenilebilir enerji kaynağı sudur ve 2010 yılı verilerine göre dünyada üretilen elektrik enerjisinin %16'sı barajlar aracılığıyla üretilmektedir. Özellikle insan nüfusundaki artış ile temiz su ve enerjiye olan talebin ilerleyen yıllarda daha da artacağı değerlendirilmektedir (IEA, 2017).

Barajların önemi ve büyüklüğü arttıkça, oluşturduğu tehditlerin şiddeti de artmaktadır. Barajların oluşturacağı tehditler deprem, sel, toprak kayması gibi doğal afetler aracılığıyla olabileceği gibi; siber saldırı, sabotaj ve terör saldırısı gibi insanlar tarafından da meydana gelebilmektedir (Baker, 2005). Barajların oluşturduğu tehditler temel olarak 4 parametreye etki etmektedir. Bunlar; insanların hayatı ve güvenliği üzerine etkisi, ekonomik etkisi, kritik fonksiyonlar üzerindeki etkisi ve ulusal/uluslar arası etkileridir (Sewg, 2015). Her ne kadar baraj kazaları az rastlanır olaylar olsa da, meydana geldiklerindeki sonuçlarının ağır olması sebebiyle, risk değerlendirmesi yapılması gerekmektedir (Burgherr ve Hirschberg, 2014).

Kritik altyapılardan biri olan barajların risk değerlendirilmesinin yapılarak meydana gelmesi istenmeyen sonuçlara karşı önlemler alınması ve bu sistemlerde çalışanlarda güvenlik kültürünün tahsis edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple barajlarda meydana gelebilecek kaza veya afetlerin sonuçlarının değerlendirilmesinden önce, hangi tehdidin veya tehditlerin barajlar için daha önemli olduğuna karar verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan bir baraja tehdit oluşturan 8 riskin önem sıralamasını Bulanık Fine-Kinney metoduyla yapmak ve baraj güvenliğinden sorumlu yetkililerin dikkatine sunmaktır.

Çalışmanın 2. Bölümünde barajların risk değerlendirmelerinin yapıldığı çalışmalara ait literatür taraması yapılmış, 3. Bölümünde sırasıyla Fine-Kinney Metodu ve Bulanık Fine-Kinney metotlarıyla ilgili yöntem açıklanmış, 4. Bölümde Türkiye'de bulunan bir Baraj "X" için tehdit oluşturabilecek 8 risk, barajda görevli güvenlik müdürü, baraj koruma bölük komutanı ve yine barajda görevli bir mühendis yardımıyla tespit edilmiştir. Daha sonra, yine bu çalışanlar ile birlikte, risklere ait olasılık, frekans ve şiddet değerleri hesaplanmış ve bu değerler yardımıyla Fine-Kinney ve Bulanık Fine-Kinney yöntemleri kullanılarak risklere ait 2 farklı risk skorları hesaplanmıştır. 5. Bölüm olan Tartışma bölümünde elde edilen "risk skorları" yorumlanmış ve 6. Bölüm olan Sonuç bölümünde müteakip çalışmalar için teklifler yapılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde büyük yapıların risk değerlendirmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmasına rağmen (Zavadskas, 2010), yenilenebilir enerji kaynağı olan barajların risk değerlendirmesi ile ilgili pek fazla çalışma bulunmamaktadır. Barajların risk değerlendirmesi ile yapılan ilk çalışmalarda Patev ve Putcha (2005) ve Hirschberg (1998) risk değerleri hesaplanırken sadece frekans ve şiddeti kullanmış ve frekans sıklığı olarak sadece meydana gelmiş olan kazalar dikkate alınmıştır.

Literatürde yapılan kimi çalışmalarda lineer regresyon gibi temel istatistik yöntemleri kullanılmıştır. Bu tür çalışmalar oldukça fazla veriye ihtiyaç duyan ve sadece belli bir konuda risk değerlendirmesi yapan çalışmalar olduğu için uygulanabilirliği oldukça zor bir yöntemdir (Xin, Xiaohu ve Kalili, 2011).

Bununla birlikte barajların risk değerlendirmesi yapılırken riskin neler olabileceğinden çok, yapıların güvenirlik analizine yani inşaat mühendisliği olarak risklere olan mukavemetine odaklanan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda; hata ağacı analizi(fault tree analysis) yöntemi (Cheng, 1993), Monte Carlo simülasyonu (Kwon ve Moon, 2005), first-order second-moment method (FOSM) (Ganji ve Jowkarshorijeh, 2012) ve olay ağacı analizi (Caia, Lullo, Ghetto ve Guadagnini, 2018) yöntemleri kullanılmıştır. Bu tür çalışmalar evrensel olmakla birlikte, sistemin tamamının risk değerlendirmesinde yetersiz olması, farklı risklerin etkilerini değerlendirmede eksik olması ve risklerden doğan sebep-sonuç ilişkisini tam olarak değerlendirememesi sebebiyle tam anlamıyla bir risk değerlendirmesi yapamamaktadırlar.

Günümüzde kritik tesislerin risk değerlendirmesi yapılırken kullanılan yöntemlerden bir tanesi de Bayes Teoremidir. Bayes Teoreminde yönlü düz ağaçlar yöntemi kullanılarak(direct acyclic graph (DAG)) risk tanımlanmıştır (Tolo, Patelli ve Beer, 2017). Geçmişte meydana gelen olaylar ve günümüzdeki riskler arasında geriye ve ileriye doğru sebep sonuç ilişkisi yapılarak risk değerlendirmesi yapılmaktadır (Wu, Jiang, Zhang, Skibniewski ve Zhong, 2015).

Bayes Teoremi ile sismik risk değerlendirmesi yapılarak deprem riskinin barajlara etkisi incelenmiştir. (Bayraktarlı, Ulfkjaer, Yazgan ve Faber, 2005) Barajlarda meydana gelebilecek elektrik veya mekanik arızalardan kaynaklı riskleri analiz eden çalışmada bulunmaktadır (Smith, 2006). Bir çalışmada ise, Çin'de barajlarda meydana gelmiş 993 küçük çaplı olay verisi kullanılarak ülke geneli için barajların risk değerlendirmesi yapılmıştır (Xu, Zhang ve Jia, 2011). Bayes teoremi ve yapısal güvenilirlik teoremini birleştirerek sel felaketinin, Çin'de bulunan Three Gorges Barajında oluşturduğu risk değerlendirmesini inceleyen bir vaka çalışması da bulunmaktadır (Liu, Guo, Liu, Chen ve Li, 2011).

Bayes teoremi ile Meksika'da yapılan bir çalışmada 10 değişken için Meksika'daki barajların risk değerlendirmesi yapılmıştır (Napoles, Hernandez, Escobedo ve Arteaga, 2014). 2017 yılında Amerika'da Folsom Barajında yapılan bir çalışmada, yoğun yağışların barajlarda meydana gelebilecek sel felaketine etkilerini Bayes teoremi ile dolaylı olarak araştıran bir çalışma yapılmıştır (Costa ve Fernandes, 2017). İki farklı afet sonucu, deprem ve sel, baraj setlerinin yıkılması veya suyun kontrolsüz serbest kalmasıyla meydana gelebilecek afetten, Çin'in kuzeybatısında bulunan Dadu Nehri üzerine kurulmuş olan Shuangjiangkou Barajı'nın risk değerlendirmesi Bayes teoremi ile yapılmıştır (Chen ve Pengzhi, 2018). Ayrıca Bayes Teoremi ile yapılan, enerji sektöründeki kazaların risk değerlendirme çalışmaları da bulunmaktadır (Bouejla, 2014). Bu yöntem daha sonra Hiyerarşik Bayes Teoremi olarak geliştirilmiş ve barajların risk değerlendirilmesinde de kullanılmıştır (Kalinina, Spada ve Burgherr, 2018).

Afetlerin risk değerlendirmesi yapılırken elde fazla veri olmadığı durumlarda Bulanık Mantık yönteminin sıkça kullanıldığı görülmektedir. Çin'de yapılan bir çalışmada depremin bulanık mantık yöntemiyle bir şehre etki, sonuç ve kayıp değerlendirmeleri yapılmış ve yorumlanmıştır (Chongfu, 1996). Afet risk değerlendirmesi için kullanılan bulanık mantık yöntemi barajların risk değerlendirmesi için de kullanılmıştır. Bulanık mantıkla yapılan bir diğer çalışmada, barajların risk deeğerlendirmesi yapılırken, AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemiyle birlikte kullanılmış ve çıkan sonuçlar nicel olarak yorumlanmıştır. Sismik hareketliliğin barajlara etkisini inceleyen bir araştırmada bulanık mantık ve veri zarflama yöntemi birlikte kullanılmış ve 2008 yılında Çin'de meydana gelen Wenchuan depreminden daha şiddetli bir deprem meydana geldiğindeki sonuçları araştırılmıştır (Gao, Wang, Jin, Guoxing ve Lipng, 2015).

Baraj gölleri çevresindeki dağlık alanlardan aşırı yağış ve deprem gibi sebeplerle baraja doğru meydana gelebilecek olan toprak kayması barajlar için önemli risklerden bir tanesidir. 2017 yılında Çin'in Maoxian bölgesindeki barajda meydana gelen 4. seviye toprak kayması sonucunda yapılan risk değerlendirmesinde bulanık mantık yöntemi kullanılmış ve toprak kayması sonucunda meydana gelebilecek zararların ve maliyetlerinin tahmin edilebileceği değerlendirilmiştir (Liao, Yang, Xu, Xu ve Zhou, 2018). Brezilya'nın güneyinde bulunan Simplicio Barajı için yapılan bir çalışmada ise, barajın yıkılması durumundaki sosyoekonomik ve çevresel etkileri bulanık ahp yöntemiyle hesaplanmış ve yorumlanmıştır (Ribas ve Díaz, 2019).

Türkiye'de bulanık mantık yöntemi ile barajların risk değerlendirmesinin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Uluslar arası bir şirket tarafından yapımı planlanan bir baraj inşaatının maliyeti için risk değerlendirmesi yapılmış (Dikmen, Birgonul ve Han, 2007), ekonomik olarak yapılıp, yapılmaması konusu araştırılmıştır. İstanbul'da meydana gelebilecek olan kuraklık ile yapılan bir çalışmada ise, risk değerlendirmesi yapılırken bulanık mantık yöntemi kullanılmış ve olası kuraklık durumunun etkileri araştırılıp değerlendirilmiştir (Kahraman ve Kaya, 2009). Bulanık Mantık yöntemiyle yapılan başka bir çalışmada (Kucukali, 2011) risk faktörü literatürde geçtiği şekilde ayrı ayrı hesaplanmamış, değişkenlere sadece tahmini risk skorları uygulanmış ve çıkan sonuç yorumlanmıştır.

Yapılan bütün çalışmalarda risk çeşitlerinden çok meydana getirdikleri etkiler ölçülmeye çalışılmıştır. Bu yüzden bütün çalışmalar şimdiye kadar meydana gelmiş tehditler üzerinden yapılmıştır. Bu çalışmada yapıldığı gibi öncelikli olarak tehdit oluşturan risklerin tespit edilmesinin daha doğru olacağı tarafımızdan değerlendirilmektedir.

3.Yöntem

3.1. Fine-Kinney Risk Analizi

Fine-Kinney metodu, risklerin önem derecelerine göre sıralanmasını, hangi işlere öncelik verilmesini ve kaynakların öncelikle nereye aktarılması konularında kullanılan bir tekniktir. 1976 yılında G.F. Kinney and A.D Wiruth tarafından geliştirilen yöntem inşaat ve çimento sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Özgür, 2013). Nicel risk analiz yöntemi olan Fine - Kinney risk analizinde olasılık

(O) , frekans (F) ve şiddet (Ş) olmak üzere üç parametre bulunmakta ve tehlikelerin risk skoru bu üç parametrenin çarpımından meydana gelmektedir. Elde edilen risk puanı; kabul edilebilir risk, olası risk, önemli risk, yüksek risk ve çok yüksek risk olmak üzere 5 sınıfta toplanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Fine-Kinney risk analizinde kullanılan olasılık göstergesi Tablo 1'de; frekans göstergesi Tablo 2'de; şiddet göstergesi Tablo 3'de ve risk puanına ait sınıflandırma göstergesi Tablo 4'de verilmiştir. Kinney ve Wiruth, 1976 yılında yapmış olduğu çalışmada 10' luk skala ile referans noktası olarak belirlediği 'Yüksek Kuvvetli İhtimal' i daha önceden meydana gelmiş, tekrarı mümkün olan ve gelecekte olacak olan olay olarak tanımlamış ve bu değere 10 atamıştır. Diğer bir referans noktası olan 'Oldukça Düşük İhtimal' i değerine 1' i atamıştır. Olasılık skalasının en düşük değerini oluşturan 'Neredeyse İmkansız' olasılığının değerine de 0,1 değerini vererek ara değerler ise deneyime bağlı olarak azalan değerler olarak oluşturmuştur (Oturakçı, 2017).

Tablo 1
Fine-Kinney Olasılık Değerler

Olasılık	Değer
Yüksek Kuvvetli İhtimal	10
Kuvvetli İhtimal	6
Seyrek Ancak Muhtemel	3
Oldukça Düşük İhtimal	1
Zayıf İhtimal	0,5
Pratik Olarak İmkansız	0,2
Neredeyse İmkansız	0,1

Kinney ve Wiruth, yine aynı çalışmasında frekans değerleri için de bir skala tablosu oluşturmuştur. Frekans göstergesindeki referans değerleri 10 ve 0,5 aralığından oluşmaktadır. Frekans tablosunda riskler saatlik, günlük, yıllık gibi zaman bazında meydana gelme sıklıklarına göre sınıflandırılmıştır. Tablo 2'de de görüldüğü gibi belirlenen riskin frekansı 'saatlik' ise riskin 'sürekli' oluştuğu kabul edilmekte ve risk değerinin oluşmasında kullanılan frekans değeri tablodaki en yüksek değer 10 ve en düşük değer 0.5 olarak tespit edilmiştir (Kokangul, Polat ve Dağsuyu, 2017).

Tablo 2
Fine-Kinney Frekans Değerleri

Frekans	Değer
Sürekli (Saatlik)	10
Sıklıkla (Günlük)	6
Ara Sıra (Haftalık)	3
Nadir (Aylık)	2
Seyrek (Yıllık)	1
Oldukça Seyrek (Yılda belki 1)	0,5

Risk puanın hesaplanmasında üçüncü değişkeni olan şiddet için hazırlanan değerler tablosunda risk sonucunda oluşan maliyet ve/veya hasar miktarı dikkate alınmaktadır. Bu hesaplama sonucunda elde edilen şiddet skala tablosu Tablo 3'de yer almaktadır. Burada oluşturulan skala da şiddetin oluşturacağı maliyet ve/veya ölüm oranı dikkate alınarak değerler belirlenmiştir (Kokangul, Polat ve Dağsuyu, 2017).

Tablo 3
Fine-Kinney Şiddet Değerleri

Şiddet	Değer
Facia (>10^7 $ zarar) birden fazla ölümlü kaza(sel, yangın, deprem, hortum)	100
Felaket (>10^6 $ zarar) öldürücü kaza	40
Çok ciddi (>10^5 $ zarar) yaralanma, iş kaybı	15
Ciddi (>10^4 $ zarar) yaralanma, ilk yardım	7
Önemli (>10^3 $ zarar) dahili ilk yardım, yaralanma	3
Fark Edilebilir (>10^2 $ zarar)	1

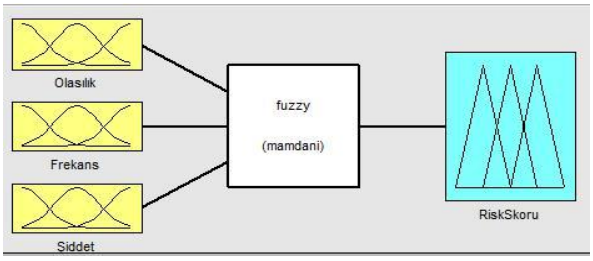
Belirlenen riske bağlı olarak olasılık, frekans ve şiddet değerleri ilgili tablolarından elde edilmekte ve üç parametre birbiri ile çarpılarak risk skoru tespit edilmektedir. Elde edilen risk değerleri Tablo 4'e göre sınıflandırılmaktadır (Kokangul, Polat ve Dağsuyu, 2017).

Tablo 4
Fine-Kinney Risk Değerleri

Risk Skoru	Risk durumu
R>400	Çok Yüksek Risk- Derhal tedbir alınmalı
200<R<400	Yüksek Risk- Kısa vadeli eylem planına alınmalı
70<R<200	Önemli Risk- Dikkatle İzlenmeli
20<R<70	Olası Risk- Eylem Planına alınmalıdır.
R<20	Kabul Edilebilir- Acil Eylem gerekmeyebilir.

3.2. Bulanık Fine - Kinney Metodu

Fine - Kinney risk analiz yönteminde parametrelerinin puanlandırılması sırasında karşılaşılan belirsizliği ortadan kaldırmak için olasılık, frekans ve şiddet parametreleri bulanıklaştırılırmış ve karar kuralları oluşturulmuştur. Aşağıda görüldüğü gibi Bulanık Fine - Kinney yaklaşımında olasılık, frekans ve şiddet parametreleri girdi; Risk Skoru değeri de çıktı olarak belirlenmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonlarına sahip girdiler ve çıktı için oluşturulan karar kurallarında "mamdani min max" metodu kullanılmış olup Matlab Fuzzy Logic Designer programında kodlanmıştır (Gul ve Celik, 2018).



Şekil 1. Bulanık Fine-Kinney Tasarımı

Olasılık, frekans ve şiddet girdileri ve Risk Skoru çıktısı için oluşturulan üçgen üyelik fonksiyonları sırasıyla Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken parametreye ait değerler tablosunda bulunan bir alt ve bir üst değerden faydalanılmıştır. Örneğin Tablo 5'de bulunan olasılık parametresinde yer alan "Kuvvetli İhtimal" bulanıklaştırılırken "Yüksek Kuvvetli İhtimal" e ait "10" değeri ve "Seyrek Ancak Muhtemel" e ait "3" değeri üyelik fonksiyonuna dâhil edilerek "Kuvvetli İhtimal" in üyelik fonksiyonu (3,6,10) olarak belirlenmiştir.

Tablo 5
Olasılık parametresi için bulanık ölçek

Olasılık	Fine-Kinney Değeri	Bulanık Fine-Kinney Üçgen Üyelik Fonksiyonu
Yüksek Kuvvetli İhtimal	10	(6, 10, 10)
Kuvvetli İhtimal	6	(3, 6, 10)
Seyrek Ancak Muhtemel	3	(1, 3, 6)
Oldukça Düşük İhtimal	1	0,5, 1, 3)
Zayıf İhtimal	0,5	(0,2, 0,5, 1)
Pratik Olarak İmkansız	0,2	(0,1, 0,2, 0,5)
Neredeyse İmkansız	0,1	(0, 0,1, 0,2)

Olasılık parametresine ait Tablo 5'de bulunan en alt seviyedeki üçgen üyelik fonksiyonun alt değeri, Fine-Kinney yöntemindeki olasılık değişkenine ait en alt seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 5'de bulunan olasılık parametresinde "Neredeyse İmkânsız" a ait üyelik fonksiyonu (0,0,1,0,2) olarak tanımlanmıştır. Parametreye ait tabloda bulunan en üst seviyedeki üçgen üyelik fonksiyonuna ait üst değer, Fine-Kinney yöntemindeki olasılık değişkenine ait en üst seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 5'de bulunan olasılık parametresinde "Yüksek Kuvvetli İhtimal" e ait üyelik fonksiyonu (6,10,10) olarak alınmıştır (Gul ve Celik, 2018).

Tablo 6
Frekans parametresi için bulanık ölçek

Frekans	Fine-Kinney Değeri	Bulanık Fine-Kinney Üçgen Üyelik Fonksiyonu
Sürekli (Saatlik)	10	(6, 10, 10)
Sıklıkla (Günlük)	6	(3, 6, 10)
Ara Sıra (Haftalık)	3	(2, 3, 6)
Nadir (Aylık)	2	(1, 2, 3)
Seyrek (Yıllık)	1	(0,5, 1, 2)
Oldukça Seyrek (Yılda 1)	0,5	(0, 0,5, 1)

Frekans parametresine ait Tablo 6'da bulunan en alt seviyedeki üçgen üyelik fonksiyonun alt değeri, Fine-Kinney metodunda kullanılan frekans değişkenine ait en alt seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 6'da bulunan frekans parametresinde "Oldukça Seyrek" e ait üyelik fonksiyonu (0,0,5,1) olarak tanımlanmıştır. Parametrelere ait tablolarda bulunan en üst seviyede üçgen üyelik fonksiyonunda bulunan üst değer, Fine-Kinney metodundaki en üst seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 6'da bulunan frekans parametresinde "Sürekli" ye ait üyelik fonksiyonu (6,10,10) olarak alınmıştır.

Tablo 7
Şiddet parametresi için bulanık ölçek

Şiddet	Fine-Kinney Değeri	Bulanık Fine-Kinney Üçgen Üyelik Fonksiyonu
Facia (>10^7 $ zarar) birden fazla ölümlü kaza (sel/yangın/deprem/hortum)	100	(40,100,100)
Felaket (>10^6 $ zarar) öldürücü kaza	40	(15,40,100)
Çok ciddi (>10^5 $ zarar) yaralanma/ iş kaybı	15	(7,15,40)
Ciddi (>10^4 $ zarar)/ yaralanma/ dış ilk yardım	7	(3,7,15)
Önemli (>10^3 $ zarar) dahili ilk yardım/yaralanma	3	(1,3,7)
Fark Edilebilir (>10^2 $ zarar) ucuz atlatma/kesik	1	(0,1,3)

Şiddet parametresine ait tablo 7'de bulunan en alt seviyedeki üçgen üyelik fonksiyonun alt değeri, en alt seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 7'de bulunan şiddet parametresinde "Fark Edilebilir" e ait üyelik fonksiyonu (0,1,3) olarak tanımlanmıştır. Parametreye ait tabloda bulunan en üst seviyedeki üçgen üyelik fonksiyonunda bulunan üst değer, Fine-Kinney yönteminde şiddet parametresine ait en üst seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 7'de bulunan olasılık parametresinde "Facia" ya ait üyelik fonksiyonu (40,100,100) olarak alınmıştır.

Tablo 8
Risk Skoru İçin Bulanık Ölçek

Risk Skoru	Risk Durumu	Bulanık Fine-Kinney Üçgen Üyelik Fonksiyonu
R>400	Çok Yüksek Risk-Derhal Tedbir Alınmalı	(300,400,400)
200<R<400	Yüksek Risk-Kısa Vadeli Eylem Planına Alınmalı	(200,300,400)
70<R<200	Önemli Risk-Dikkatle İzlenmeli	(70,200,300)
20<R<70	Olası Risk-Eylem Planına Alınmalıdır	(20,70,200)
R<20	Kabul Edilebilir-Acil Eylem Planı Gerekmez	(0,20,70)

Risk Skoruna ait tablo 8'de bulunan en alt seviyedeki üçgen üyelik fonksiyonun alt değeri, Fine-Kinney yöntemindeki risk skoruna ait en alt seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 8'de bulunan "Kabul Edilebilir" e ait üyelik fonksiyonu (0,20,70) olarak tanımlanmıştır. Parametreye ait tabloda bulunan en üst seviyedeki üçgen üyelik fonksiyonunda bulunan üst değer, Fine-Kinney yönteminde kullanılan risk skoru parametresine ait en üst seviyedeki değerle aynı alınmıştır. Örneğin Tablo 8'de bulunan risk skoru parametresinde "Çok Yüksek Risk" e ait üyelik fonksiyonu (300,400,400) olarak alınmıştır.

Risk değerlendirme yöntemi olarak kullanılan Fine-Kinney yönteminde, risk seviyelerinin hesaplanması ve risklerin önem derecesine göre sıralanması yapılırken bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Özellikle belirsizliğin yüksek olduğu kritik tesislerin risk değerlendirmesi yapılan durumlarda ara değerlerin kullanılamaması klasik Fine-Kinney yöntemi için bir eksikliktir. Bu sebeple kritik tesis olan barajların risk değerlendirmesi yapılırken Bulanık Fine-Kinney yönteminin kullanılmasının daha doğru sonuçlar vereceği değerlendirilmektedir.

4. Bulgular

Yapılan çalışmanın bu aşamasında Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan bir Baraj X'e ait 8 tehdit, daha önce meydana gelmiş olaylar(terör saldırısı, elektrik arızası, deprem ve toprak kayması) ve barajlar için olması muhtemel riskler(siber saldırı, sabotaj, yangın ve sel felaketi) baraj güvenliğinden sorumlu olan güvenlik müdürü, baraj koruma bölük komutanı ve barajda görevli olan bir mühendis ile yapılan görüşmeler neticesinde tespit edilmiştir. Bu tehditler kısaca; siber saldırı, terör saldırısı, sabotaj, yangın, elektrik arızası, sel felaketi, deprem ve toprak kaymasıdır. Öncelikle bu tehditlere ait olasılık, frekans ve şiddet değerleri risk tespitinde olduğu gibi ilgili barajdan sorumlu olan güvenlik müdürü, baraj koruma bölük komutanı ve barajda görevli olan bir mühendis yardımıyla yapılan görüşmeler neticesinde ayrı ayrı tespit edilmiş ve Fine-Kinney Risk skoru hesaplanmıştır. Daha sonra Bulanık Fine-Kinney risk skoru bulunmuş ve bu iki farklı skor karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Tablo 9'da tespit edilen risklerine ait olasılık, frekans ve şiddet değerleri Fine-Kinney metoduyla tek tek hesaplanmış ve risk skorlarına göre değerlendirmeleri yapılmıştır.

Tablo 9
Fine-Kinney Risk Analizi Tablosu

Sıra	Risk	Tehlikeler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Skoru	Değerlendirme
1	Siber Saldırı	Barajlarda bulunan dijital sistemlerin siber saldırılar ile bozulması, işlevsiz hale getirilmesi	0,5	0,5	40	10	Kabul Edilebilir Risk
2	Terör Saldırısı	Görerek ve görmeyerek silahlarla yapılan saldırılar, araçlı veya canlı bomba türü saldırı	10	3	15	450	Çok Yüksek Risk
3	Sabotaj	Çalışanlar tarafından veya tesise girip çıkan kişiler tarafından yapılan kundaklama, zehirleme gibi saldırılar	6	1	40	240	Yüksek Risk
4	Yangın	Kazaen veya kasıtlı olarak	3	1	15	45	Olası Risk
5	Elektrik Arızası	Kazaen veya kasıtlı olarak	6	1	15	90	Önemli Risk
6	Sel Felaketi	Doğal Afet	3	1	40	120	Önemli Risk
7	Deprem	Doğal Afet	3	2	100	600	Çok Yüksek Risk
8	Toprak Kayması	Doğal Afet	6	2	40	480	Çok Yüksek Risk

Risk skoru tespit edilirken 8 tehlike için olasılık, frekans ve şiddet değerleri tablo 1, tablo 2 ve tablo 3'den faydalanarak, o baraja ait değerler tespit edilmiş ve bu değerler yardımıyla 8 tehdit için risk skoru hesaplanmıştır.

Tablo 9'da görüldüğü gibi Fine-Kinney metoduna göre baraj için terör saldırısı, deprem ve toprak kayması çok yüksek risk; sabotaj yüksek risk; elektrik arızası, sel felaketi önemli risk; yangın olası risk ve siber saldırı kabul edilebilir risk olarak tespit edilmiştir.

Tablo 10
Bulanık Fine-Kinney Risk Analizi Tablosu

Sıra	Risk	Tehlikeler	Bulanık Risk Skoru	Değerlendirme
1	Siber Saldırı	Barajlarda bulunan dijital sistemlerin siber saldırılar ile bozulması, işlevsiz hale getirilmesi.	30	Olası Risk
2	Terör Saldırısı	Görerek ve görmeyerek silahlarla yapılan saldırılar, araçlı veya canlı bomba türü saldırı	368	Yüksek Risk
3	Sabotaj	Çalışanlar tarafından veya tesise girip çıkan kişiler tarafından yapılan kundaklama, zehirleme gibi saldırılar	300	Yüksek Risk
4	Yangın	Kazaen veya kasıtlı olarak	96,7	Önemli Risk
5	Elektrik Arızası	Kazaen veya kasıtlı olarak	190	Önemli Risk
6	Sel Felaketi	Doğal Afet	190	Önemli Risk
7	Deprem	Doğal Afet	368	Yüksek Risk
8	Toprak Kayması	Doğal Afet	368	Yüksek Risk

Bulanık Fine-Kinney yöntemiyle 8 tehlikeye ait risk skorları hesaplanırken olasılık parametresi için tablo 5; frekans parametresi için tablo 6; şiddet parametresi için tablo 7'de bulunan üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

Bulanık Fine-Kinney metoduyla risk skorları hesaplanmış ve Tablo 8'e göre risklerin seviyelerine bakıldığında; terör saldırısı, sabotaj, deprem ve toprak kaymasının yüksek risk; yangın, elektrik arızası, sel felaketinin önemli risk ve siber saldırının olası risk oluşturduğu anlaşılmıştır.

5. Tartışma

Barajlar; elektrik üretimi, tarım alanlarının sulanması, içme ve endüstriyel alanlarda kullanılmak üzere düzenli olarak su temin etmesi başta olmak üzere, bir sürü faydası olan kritik yapılardır. Özellikle enerji üretiminde fosil yakıtların azalması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına daha çok talep olması sebebiyle enerji üretiminde artan bir değere sahiptir. Ayrıca barajların maliyetinin yüksek ve büyük yapılar olması sebebiyle, zarar görmeleri veya en kötü durum olarak yıkılmaları halinde, çevreye ve ekonomiye vereceği zararın da büyük olacağı kesindir. Bununla birlikte herhangi bir kritik tesisin zarar görmesi, bulunduğu ülkenin itibarını da oldukça olumsuz etkileyebilecek bir durumdur.

Yukarıda belirtilen gerekçeler başta olmak üzere, barajların emniyeti ve bu emniyetin devamlılığı çok önemlidir. Özellikle kritik tesis güvenliği için çalışan personelde güvenlik kültürünün tesis edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde, güvenliği sağlayan personel tarafından kritik tesisi hangi tehdide veya tehditlere karşı korunduğu konusu doğru bir şekilde öğretilmelidir. Bu çalışmanın amacı da, belirlenen bir baraj için olması en muhtemel risklerin belirlenmesi ve bu risklerin kendi aralarında önem sıralamasının oluşturulması olmuştur. Bu maksatla insan yapımı veya doğal bir afet oluncaya kadar olan dönem "Risk Yönetimi", afet meydana geldikten sonraki dönem "Kriz Yönetimi" dönemini oluşturmaktadır. Risk yönetiminin maliyetinin kriz yönetimine göre düşük olması ve afetin olumsuz sonuçlarını ciddi şekilde azaltacağı sebebiyle risk yönetiminin etkin verimli yapılması gerekmektedir.

Siber saldırı riski için Fine-Kinney yöntemiyle risk skoru "kabul edilebilir risk" olarak hesaplanırken,

Bulanık Fine-Kinney yöntemiyle risk skorunun "olası risk" olduğu görülmektedir. Bu durumda siber saldırı riski için eylem planı hazırlanmalı ve muhtemel tehditler konusunda personel eğitilmelidir.

Yapılan çalışmada ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde; terör riski için Fine-Kinney metoduyla risk skoru "çok yüksek risk" olarak belirlenmesine rağmen, Bulanık Fine-Kinney yöntemiyle risk skoru "yüksek risk" olarak belirlenmiştir. Bu durumda Baraj'ın faaliyetlerini durdurması gerekecek kadar ciddi bir durumun olmadığı, ancak kısa vadede terör riski olan tehditler için tedbir alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Sabotaj riski için risk skoru iki yöntemle de "yüksek risk" olarak hesaplanmıştır. Bu durumda sabotaj riskini oluşturan tehditler için kısa vadede önlemlerin alınmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Yangın riski için Fine-Kinney yöntemiyle risk skoru "olası risk" olarak belirlenmişken, Bulanık Fine-Kinney metoduyla risk skoru "önemli risk" olarak belirlenmiştir. Yangın, elektrik arızası ve sel felaketinin risk skorunun "önemli risk" olması sebebiyle, dikkatle takip edilmesi ve yıllık eylem planında bu tehditlere yönelik tedbirlerin alınmasının önemli olacağı düşünülmektedir.

Deprem ve toprak kayması risklerinin Fine-Kinney metoduna göre risk skorlarının "çok yüksek risk" çıkmasına rağmen, Bulanık Fine-Kinney metoduna göre risk skorları "yüksek risk" çıkmıştır. Bu risk skorları, Baraj'ın deprem bölgesinde olmasının faaliyetlerini aksatacak seviyede olmadığını, fakat yüksek risk oluşturması sebebiyle meydana geldiği takdirde ciddi hasarlar oluşturabileceğini göstermektedir. Bu sebeple, olası bir deprem veya toprak kayması felaketinde, tehditleri ve hasarları azaltıcı çalışmaların acilen yapılmasının doğru olacağı değerlendirilmektedir.

Yapılan bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan bir Baraj için risk teşkil eden tehditler, yine bu barajda görevli olan uzmanlar yardımıyla tespit edilmiştir. Tespit edilen 8 riskin, önce Fine-Kinney yöntemiyle risk skoru, daha sonra Bulanık Fine-Kinney metoduyla risk skoru hesaplanmıştır. Tablo 11'de bulunan risk skorları karşılaştırılmıştır.

Tablo 11
Fine-Kinney ve Bulanık Fine-Kinney Risk Skorlarının Karşılaştırılması

Sıra	Risk	Tehlikeler	Fine Kinney Risk Skoru	Değerlendirme	Bulanık Fine-Kinney Risk Skoru	Değerlendirme
1	Siber Saldırı	Barajlarda bulunan dijital sistemlerin siber saldırılar ile bozulması, işlevsiz hale getirilmesi.	10	Kabul Edilebilir Risk	30	**Olası Risk**
2	Terör Saldırısı	Görerek ve görmeyerek silahlarla yapılan saldırılar, araçlı veya canlı bomba türü saldırı	450	Çok Yüksek Risk	368	**Yüksek Risk**
3	Sabotaj	Çalışanlar tarafından veya tesise girip çıkan kişiler tarafından yapılan kundaklama, zehirleme gibi saldırılar	240	Yüksek Risk	300	Yüksek Risk
4	Yangın	Kazaen veya kasıtlı olarak	45	Olası Risk	96,7	**Önemli Risk**
5	Elektrik Arızası	Kazaen veya kasıtlı olarak	90	Önemli Risk	190	Önemli Risk
6	Sel Felaketi	Doğal Afet	120	Önemli Risk	190	Önemli Risk
7	Deprem	Doğal Afet	600	Çok Yüksek Risk	368	**Yüksek Risk**
8	Toprak Kayması	Doğal Afet	480	Çok Yüksek Risk	368	**Yüksek Risk**

Bulunan sonuçlar neticesinde, siber saldırı riskinin ihmal edilebilir bir risk olmadığı, tedbir alınması gereken bir risk olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte çok yüksek risk olarak belirlenen terör, deprem ve toprak kayması risklerinin de Bulanık Fine-Kinney yöntemine göre çok yüksek riskler olmadığı, ancak yüksek riskler olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan çalışmada görüldüğü gibi bazı risklere ait risk skorları Bulanık Fine-Kinney yöntemiyle değişmiştir. Bunun en büyük sebebi riskleri tespit etmek için kullanılan olasılık, frekans ve şiddet parametrelerine belli aralıklarda değerler verilmesidir ve bu sayede daha doğru sonuçların ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Çünkü meydana gelebilecek bir riskin olma ihtimali, olma sıklığı ve meydana geldiğinde yaratacağı zararı tek bir değerle açıklamak her zaman doğru sonucu vermeyebilir. Bu sebeple kritik tesislerle ilgili yapılan risk değerlendirmesi çalışmalarında Bulanık Fine-Kinney yönteminin kullanılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmayla, kritik bir tesis olan bir baraj için belirlenmiş 8 riske ait risk skoru Fine-Kinney ve Bulanık Fine-Kinney metotlarıyla hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Genellikle işletmeler için kullanılan bu yöntem ilk defa kritik bir tesis için kullanılmış ve anlamlı sonuçlar çıktığı görülmüştür. Ülke ekonomisine ciddi katkılar sunan ve zarar görmesi halinde ekonomik, toplumsal ve devletin itibarını olumsuz etkileyebilecek riskler ve bu risklerin seviyeleri tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucu sayesinde, barajın güvenliğinden sorumlu olan yöneticilerin kısa, orta ve uzun vadeli güvenlik planlarını daha doğru bir şekilde yapabilmeleri hedeflenmiştir.

İster insan tarafından yapılan bir saldırı olsun, ister doğal olarak meydana gelmiş bir afet olsun, afet meydana gelene kadar ki dönem "Risk Yönetimi", afet meydana geldikten sonraki dönem ise "Kriz Yönetimi"ni oluşturmaktadır. Bu sebeple, barajların risk değerlendirmesi yapılan bir çalışmadan sonra, meydana gelmiş bir afet sonrası, barajlarda kriz yönetiminin çalışılmasının uygun olacağı tarafımızca değerlendirilmektedir. Bu şekilde kritik tesis yönetiminin bütüncül bir yaklaşımla incelenmiş olunacağı düşünülmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Babak Daneshvar ROUYENDEGH, yöntemin tespit edilmesi, bilimsel yazın taraması ve sonuç kısmına; Lütfü GÜR, giriş, bulguların tespit edilmesi ve tartışma bölümünün hazırlanması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Baker, G. H. (2005). A vulnerability assessment Methodology for Critical Infrastructure Sites. *James Madison Universit, 1-14*. Retrieved from: https://works.bepress.com/george_h_baker/2/

Bayraktarlı, Y., Ulfkjaer, J., Yazgan, U. & Faber, M. (2005). On the application of Bayesian probabilistic networks for earthquake risk management. *9th international conference on structural safety and reliability* . Rotterdam: Millpress. Retrieved from: http://www.merci.ethz.ch/Publications/bayota.pdf

Bouejla, A., Chaze, X., Guarnieri, F. & Napoli, A. (2014). A Bayesian network to manage risks of maritime piracy against offshore oil fields. *Safety Science*, 68, 222-230. doi: http://dx.doi.org/10.1016/ j.ssci.2014.04.010

Burgherr, P. & Hirschberg, S. (2014). Comparative Risk Assessment of Severe Accidents in the Energy Sector. *Energy Policy*, 74, 45-56. doi: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.035

Caia, A., Lullo, A., Ghetto, G. & Guadagnini, A. (2018). Probabilistic analysis of risk and mitigation of deepwater well blowouts and oik spills. *Stoh Environ Res Risk Assess*,32, 2647-2666. doi: https://doi.org/10.1007/s00477-017-1509-6

Chen, Y. & Pengzhi, L. (2018). Bayesian network of risk assessment for a super-large dam exposed to multiple natural risk sources. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 33(2), 581-592*. doi: http://dx.doi.org/10.1007/s00477-018-1631-0

Cheng, S. (1993). Statistics of Dam Failure. Reliability and Uncertainty Analyses in Hydraulic Design report made by American Society of Civil Engineers(*ASCE)*, 97-105.

Chongfu, H. (1996). Fuzzy risk assessment of urban natural hazards . *Fuzzy Sets and Systems*, 83, 271-282. doi: https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00382-7

Costa, V. & Fernandes, W. (2017). Bayesian estimation of extreme flood quantiles using a rainfall-runoff model and a stochastic daily

rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 554, 137-154. doi: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.003

Dikmen, İ., Birgonul, T. & Han, S. (2007). Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management*, 25(5), 494-505. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.12.002

Ganji, A. & Jowkarshorijeh, L. (2012). Advance first order second moment analysis:a case study. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 26, 33-42. doi: https://doi.org/10.1007/s00477-011-0517-1

Gao, H., Wang, Z., Jin, D., Guoxing, C. & Lipng, J. (2015). Fuzzy evaluation on seismic behavior of reservoir dams during the 2008 Wenchuan earthquake, China. *Engineering Geology*, 197, 1-10. doi: https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.07.023

Gul, M. & Celik, E. (2018). Fuzzy rule-based Fine–Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *Human and Ecological Risk Assessment:An International Journal*, 24, 1786-1812.doi: https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1422975

Hirschberg, S. S. (1998). *Severe Accidents in the Energy Sector.* Villigen PSI: Swiss Federal Office of Energy. Retrieved from: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/045/30045581.pdf

IEA. (2017). *World Energy Outlook 2017.* International Energy Agency(IEA). doi: https://doi.org/10.1787/weo-2017-en

Kahraman, C. & Kaya, İ. (2009). Fuzzy Process Accuracy Index to Evaluate Risk Assessment of Drought Effects in Turkey. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 15(4), 789-810. doi: http://dx.doi.org/10.1080/10807030903051242

Kalinina, A., Spada, M. & Burgherr, P. (2018). Application of a Bayesian hierarchical modeling for risk assessment of accidents at hydropower dams. *Safety Science*, 110, 164-177. doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.006

Kokangul, A., Polat, U. & Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney. *Safety Science*, 91, 24-32. doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.015

Kucukali, S. (2011). Risk assessment of river-type hydro power plants using fuzzy logic approach. *Energy Policy*, 39(10), 6683-6688. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.067

Kwon HH, Moon Y. (2005). Improvement of Overtopping Risk Evaluations Using Probabilistic Concepts for Existing dams. *Stoch Environ Rs Risk Assess*, 20(4), 223-237. doi: https://doi.org/10.1007/s00477-005-0017-2

Liao, H., Yang, X., Xu, F., Xu, H. & Zhou, J. (2018). A fuzzy comprehensive method for the risk assessment of a landslide-dammed lake. *Environmental Earth Sciences*, 750, 1-14. doi: https://doi.org/10.1007/s12665-018-7946-9

Liu, X., Guo, S., Liu, P., Chen, L. & Li, X. (2011). Deriving optimal refill rules for multi-purpose reservoir operation. *Water Resour Manag*, 25(2), 431-448. doi: https://doi.org/10.1007/s11269-010-9707-8

Napoles, O., Hernandez, D., Escobedo, D. & Arteaga, J. (2014). A continuous Bayesian network for earth earth dams' risk assessment:methodology and quantification. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(5), 589-603. doi: https://doi.org/10.1080/15732479.2012.757789

Oturakçı, M. (2017). Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1, 17-25. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/264708575

Özgür, M. (2013). *Metal Sektöründe Risk Analizi Uygulaması.* İzmir: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. Erişim adresi: https://www.academia.edu/20065155/METAL_SEKTORUNDE_RISK_ANALIZI_UYGULAMASI

Ribas, J. R. ve Díaz, J. I. (2019). A multicriteria fuzzy approximate reasoning approach for risk. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-15. doi: https://doi.org/10.1007/s12665-019-8526-3

Sewg. (2015). *Dams Sector Security Guidelines 2015.* Homeland Security, Dams Sector Security Education Working Group. Retrieved from: https://damsafety.org/sites/default/files/files/dams-sector-security-guidelines-2015-508.pdf

Smith, M. (2006). Dam risk analysis using Bayesian networks. *ECI conference on geohazards.* New York. Retrieved from: http://dc.engconfintl.org/geohazards/10

Tolo, S., Patelli, E. & Beer, M. (2017). Robust vulnerability Analysis of nuclear facilities subject to external hazards. *Stoh Environ Res Risk Assess*,

31, 2733-2756. doi: https://doi.org/10.1007/s00477-016-1360-1

Wu, X., Jiang, Z., Zhang, L., Skibniewski, M. & Zhong, J. (2015). Dynamic risk analysis for adjacent buildings in tunneling enviroments:A Bayesian network based approach. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 29, 1447-1461. doi: https://doi.org/10.1007/s00477-015-1045-1

Xin, Z., Xiahou, X. & Kaili, X. (2011). Study on the Risk Assessment of the Tailings Dam Break. *Procedia Engineering,* 26, 2261-2269. doi: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2433

Xu, Y., Zhang, L. & Jia, J. (2011). Diagnosis of embankment dam distresses using Bayesian networks. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(11), 1630-1644. doi: https://doi.org/10.1139/t11-069

Zavadskas, E.,K., Turskis, Z. & Tamošaitienė, J. (2010). Risk Assessment of Construction Projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(1), 33-46. doi: https://doi.org/10.3846/jcem.2010.03