



Biyogaz üretim süreçlerinde kullanılacak en uygun risk değerlendirme metodolojisinin analitik hiyerarşi prosesi ile belirlenmesi

Determination of the most appropriate risk assessment methodology to be used in biogas production processes by analytical hierarchy process

Rıfat Yıldırım^{1,*} 

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenliği Bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 32920, Isparta Türkiye

Öz

Biyodizel, biyogaz ve bioetanol dünya genelinde artan enerji taleplerini karşılamak için kullanılacak enerji kaynaklarıdır. Enerji üretiminde önemli yere sahip olan biyogaz tesisleri, işin doğası veya kullanılan ekipmanlar nedeniyle, bazı tehlikeler ve buna bağlı riskler içermektedir. Bu çalışmanın amacı, biyogaz üretim tesislerinde risk değerlendirme yöntemlerinin analitik hiyerarşi süreci yardımıyla belirlenmesidir. Analitik hiyerarşi sürecinde kriterler “Zaman”, “Parametre Sayısı”, “Analist Yetkinliği”, “Veri Toplama Basamakları”, “Sektörel Yaygınlık” ve “Analizin Başarı Oranı” olarak belirlenmiştir. Çalışmanın alternatifleri ise “L Matris”, “X Matris”, “Fine Kinney” ve “Hata Türü ve Etkileri Analizi” olarak seçilmiştir. Çalışmada “Başarı Oranı” kriteri 0.46 puan ile en yüksek ağırlıklı kriter, Hata Türü ve Etkileri Analiz metodu ise 0.606 puan ile en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Çok tehlikeli ve tehlikeli sınıfta yer alan biyogaz tesisleri için kullanılan risk analiz yöntemlerinde “Başarı Oranı” kriteri oldukça önemlidir. Bu nedenle, “Başarı Oranı” kriteri yüksek olan Fine Kinney metodunun, Hata Türü ve Etkileri Analiz metoduna alternatif olabileceği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Analitik hiyerarşi süreci, Biyogaz, Hata türü ve etkileri analizi

1 Giriş

Enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılan fosil yakıtların oluşturdukları sera gazı ile küresel ısınmaya neden olduğunun anlaşılmasından sonra, daha az kirletici parametre oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları arayışı ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Organik atıklar biyoetanol, biyogaz, biyodizel vb. (biyokütle) dönüştürülebilir ve bu atıklardan çok miktarlarda biyoyakıt üretilmektedir [1]. Artan enerji talebini karşılamak için biyokütle enerjisi önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır [2]. Bu biyoyakıtlar arasında biyogaz, biyokütlenin anaerobik fermentasyonundan kaynaklanan ve enerji üretmek için kullanılabilen bir gaz kombinasyonudur ve %60-75 metan (CH₄), %23-38 karbondioksit (CO₂) ve eser

Abstract

Biodiesel, biogas and bioethanol are among the energy sources that can be used to meet the increasing energy demands worldwide. Due to the nature of the operation or the tools employed, biogas facilities, which play a significant role in energy generation, come with various risks and dangers. The aim of this study is to determine risk assessment methods in biogas production facilities with the help of analytical hierarchy process. In the analytical hierarchy process, the criteria were determined as “Time”, “Number of Parameters”, “Analyst Competence”, “Data Collection Steps”, “Sectoral Prevalence” and “Success Rate of Analysis”. Alternatives of the study were chosen as “L Matrix”, “X Matrix”, “Fine Kinney” and “Failure Mode and Effects Analysis”. The “Success Rate” criteria were found to be the most weighted criterion in the study, receiving 0.46 points, while the Failure Mode and Effects Analysis approach was shown to be the best option, receiving 0.606 points. “Success Rate” in risk analysis methods used for biogas plants classified as very dangerous and dangerous criterion is very important. Therefore, the “Success Rate” Fine Kinney method, which has a high criterion, can be an alternative to the Failure Mode and Effects Analysis method.

Keywords: Analytical hierarchy process, Biogas, Failure mode and effects analysis

miktarda hidrojen (H₂) ve hidrojen sülfür (H₂S) içerir [3]. Organik atıkların kontrollü olarak anaerobik koşullarda biyogaza dönüştürülmesi ile organik atıklardan enerji elde edilmekte, sera gazı emisyonları kontrol altında tutulmakta, katı atık depolama tesislerinde fazla olan organik atık yükleri azaltılarak bu atıklardan ayrıca gelir elde edilmektedir.

Biyogaz kullanılarak üretilen elektrik enerjisi, sera gazı emisyonlarını azaltmasının yanında, organik atık ve artık maddelerin anaerobik fermentasyonu sonucu oluşan cüruf, toprak iyileştirici olarak kullanılabilir. Bu faydalar göz önüne alındığında, alternatif yakıtlar arasında önemli bir konuma sahip olan biyogaz [4], kullanılması daha çevreci olan bir enerji kaynağıdır [5]. CH₄, biyogazın ısı

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: rifat_1319@hotmail.com (R. Yıldırım)

Geliş / Received: 07.03.2023 Kabul / Accepted: 21.08.2023 Yayımlanma / Published: 15.10.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1261660

değerini belirleyen en önemli bileşenidir ve bu gaz CO₂ gazından 21 kat [6] veya 23 kat [7] daha fazla sera etkisine sahiptir. Organik maddelerin kontrollü veya kontrolsüz şekilde anaerobik bozunmasıyla ortaya çıkan biyogazın kontrol altında tutulması, küresel ısınmanın durdurulması ve bunun finansal faydalarının artırılması için yapılması gereken önemli çalışmalarından biridir [7].

Biyogazın aydınlatma ve ısıtma amaçlı doğrudan kullanımı, elektrik ve mekanik enerjiye dönüştürülmesi, onu esnek bir enerji kaynağı yapmaktadır. Biyogaz sıkıştırıldığında, otomobil yakıtı (CNG) olarak sıkıştırılmış doğal gazın yerine kullanılabilir. Ek olarak, biyogaz üretiminin fermente edilmiş atıkları, kalitesini artırmak için toprağa uygulanabilmektedir [7]. Türkiye için yapılan çalışmalardan elde edilen veriler (Tablo 1) dikkate alındığında, biyogaz tesisleri için hem substrat hem de mikroorganizma kaynağı olan hayvansal atıkların 193.9 Mton/yıl olduğu görülmektedir. Bu yüksek atık potansiyelinin biyogaza ve dolayısıyla enerjiye çevrimi için Türkiye genelinde kurulu olan 199 adet Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santrali bulunmaktadır. Bu santrallerden elde edilen enerji yılda 3.89 Milyon Ton Eşdeğerinde Petrol (MTEP) miktarlarındadır. Atık potansiyeline göre teorik enerji değeri ise 34 MTEP/yıl civarındadır [8]. Halihazırda kurulu olan santrallerin ürettiği biyogaz miktarı, üretilen biyogaz potansiyelinin yaklaşık 1/10'u düzeyindedir. Ülkemizin, ekonomik enerji eşdeğeri ile teorik enerji eşdeğeri arasındaki önemli farkı ortadan kaldırarak, ekonomik enerji eşdeğerini yükseltecek önemli bir organik atık potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Türkiye'deki 2021 yılı enerji kaynakları, atık ve enerji miktarları [8]

Toplam Hayvan Sayısı	422 832 374 Adet
Hayvansal Atık Miktarı	193 878 079 ton/yıl
Hayvansal ve Bitkisel ATED ve Belediye ABUO-TEE	30.2 MTEP/yıl
Hayvansal ve Bitkisel AEED ve Belediye ABUO-EEE	2.6 MTEP/yıl
Atıkların Toplam TEE	34 002 549 TEP/yıl
Atıkların Toplam EEE	3 892 422 TEP/yıl
Santral Sayısı	199

ATED: Atıkların Teorik Enerji Değeri

AEED: Atıkların Teorik Enerji Değeri

ABUO-TEE: Atıklarından Biyometanizasyona Uygun Olanlar- Teorik Enerji Eşdeğeri

ABUO-EEE: Atıklarından Biyometanizasyona Uygun Olanlar- Ekonomik Enerji Eşdeğeri

Biyogaz üretim tesisleri, çok küçük ölçekli olan aile tipi biyogaz tesislerinden başlayarak çiftlik tipi ve merkezi biyogaz tesislerini içeren tarımsal biyogaz tesisleri, atıksu arıtma tesislerinden çıkan atık çamurun kullanıldığı tesisler, endüstriyel biyogaz tesisleri ve çöp gazı geri kazanım tesisleri olarak günümüzde kullanılmaktadır [9, 10].

Biyogaz tesislerinde hammadde taşınmasının yapılması nedeniyle araç kazaları, taşınan malzemelerden kaynaklanacak mikrobiyolojik tehlikeler, depo alanında

çökmeler, araçların egzozlarından kaynaklı meslek hastalıkları meydana gelebilmektedir. Aynı zamanda işletme bünyesinde çalışanların gürültü, titreşim, elektrik, ergonomik olmayan malzeme ve ekipman kullanımından kaynaklanacak ve biyogazın solunması, gaz patlaması sonucunda meydana gelebilecek iş kazaları ve meslek hastalıklarıyla karşılaşma ihtimalleri bulunmaktadır [10].

Çalışma ortamlarında iş kazaları ve meslek hastalıklarına yol açabilecek tehlikeleri tam olarak belirlemek ve bu tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin birbirleriyle etkileşimini incelemek, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) çalışmaları açısından oldukça önemlidir [11].

Enerji üretiminde önemli yere sahip olan biyogaz tesisleri de sektörel bazda uzmanlaşma gerektiren ve yapılan işin doğası veya kullanılan ekipmanlar nedeniyle, bazı tehlikeler ve buna bağlı olarak bazı riskler içeren sektörlerdendir [12]. Fiziksel (gürültü, titreşim, aydınlatma vb.), kimyasal ve biyolojik (patojen mikroorganizma) risk unsurları içerdiğinden dolayı biyogaz tesisleri, İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği'ne göre biyogaz üretimi yapılan işletmeler için 38.21.01 nace koduyla "Tehlikeli", biyogazdan elektrik üreten tesisler için ise 38.11.19 nace koduyla "Çok Tehlikeli" olarak sınıflandırılmaktadır [13]. Biyogazın patlaması ve çalışanların bu gazı solunması nedeniyle meydana gelecek sağlık sorunları, her iki işletme için de en büyük ortak risktir. Ayrıca anaerobik reaktörlerde bulunan biyogaz cürufuna teması nedeniyle bulaşıcı hastalıkların meydana gelmesi biyogaz üretim tesislerinde en büyük risklerdendir.

Tehlike sınıfları ve oluşabilecek riskler göz önüne alındığında bu tesislerin kurulumu ve işletilmesi sırasında sağlık, güvenlik ve çevre koruma önlemlerinin eksiksiz uygulanabilmesi için iş güvenliği tedbirlerine önem gösterilmesi gerekmektedir [14]. Bu nedenle, işyerlerinde tehlikeden kaynaklı kayıp yaralanma hasar ortaya çıkmadan (proaktif) kontrol altına almak, iş güvenliği çalışmalarının esasını oluşturmaktadır. Bu amaca uygun olarak da işyerlerinde tehlike kaynakları belirlenerek bu kaynakların oluşturduğu risklerin belirlendiği risk değerlendirmesinin yapılması önem arz etmektedir [12].

Risk değerlendirmesi için hem nicel hem de nitel metodolojiler kullanılabilir [15]. Yapılan çalışmalarda yaygın risk değerlendirme teknikleri olan L Matris, Kontrol Listeleri, Fine-Kinney, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), X Matris, Hata Ağacı Analizi (FTA), Tehlike ve İşlenebilirlik Analizi (HAZOP) ve Kaza Sonuç Analizi (ETA) kullanılmaktadır [15, 16]. Bu risk değerlendirme metodolojileri içerisinde en yaygın kullanılan yöntemin, L matris olduğu anlaşılmaktadır [15-29]. L Matris yönteminin tek kişi tarafından yapılabilen ve kısa sürelerde tamamlanabilen kolay bir yöntem olması tercih edilme sebeplerinin en önemlilerindedir. Ancak bu matrisin değerlendirme kriterlerinin yetersiz olması ve tecrübe gereksiniminin az olması nedeniyle, risk skorlarının belirlenmesinde yanlışlıklar yapılması mümkün olmaktadır. Aynı zamanda bu matrisin kısıtlarından birisi de olasılık ve şiddetin belirlenmesinde, olasılığı yüksek, şiddeti az olan bir durum ile şiddeti yüksek, olasılığı düşük olan bir durumun risk skorlarının eşit olabilmesidir. Bu durum

olayların öncelik sıralamalarını etkileyeceği için önemli risklerin gözden kaçmasına neden olabilmekte ve kısa sürede düzeltilebilecek bir durumu işin içinden çıkılamayacak hale getirebilmektedir. Bu nedenle çoğu işletmede L Matrisin yanında diğer metodolojilerden biri veya birkaçı kullanılarak risklerin gözden kaçmasını engelleme çalışmaları söz konusu olmalıdır. İşletmelerde hangi Risk Değerlendirme Metodolojilerinin seçilmesi gerektiği çoğu zaman belirlemesi zor bir iştir. Analistler genel olarak kullanılacak analizi seçerken, daha önceki analizlerde edindiği tecrübelerine veya zaman sıkıntısı nedeniyle en kısa sürede bitirilecek olan yöntemlere yönelmektedirler. Bu durum, işe/işleme uygun risk metodolojisinin seçiminde yanlışlık yapılmasına neden olmakta ve uygun olmayan yöntemlerin seçilmesi ile iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi için önem arz eden risk değerlendirme raporlarının etkinliğini azaltmaktadır. Bazı durumlarda analiz tamamlandıktan sonra kullanılan yöntemin uygun olmadığı ortaya çıkmakta ve bu da zaman kaybına neden olmakta ve analistin iş yükünü artırmaktadır. Bu nedenle seçilecek yöntemin kısa sürede ve en uygun şekilde karşılaştırılması oldukça önemlidir. Yapılan bu çalışmada, biyogaz üretim tesisleri için en uygun risk analiz yöntemi Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yardımıyla belirlenmiştir.

2 Materyal ve metot

2.1 Risk değerlendirme metodolojileri

Ülkemizde farklı yöntemler uygulanarak ve farklı sektörler için hazırlanan birçok risk analizi çalışmaları mevcuttur [23]. İşletmenin içeriğine ve analistin tecrübelerine göre risk değerlendirme çalışmalarında kullanılan nitel, nicel ve karma yöntemler (Tablo 2) bulunmaktadır [30, 31].

Tablo 2. Risk değerlendirme metotları [32]

Nitel (Kalitatif) Yöntemler	Nicel (Kantitatif) Yöntemler	Karma Yöntemler
Ön Tehlike Analizi (PHA)	L Maris Metodu	Hata Ağacı Analizi (FTA)
Ne Olursa Ne Olur? (What if..)	X Matris Metodu	Olay Ağacı Analizi (ETA)
Birincil Risk Analizi (PRA)	Fine Kinney Metodu	Balık Kılıçığı
Tehlike ve İşletilebilirlik (HAZOP)		Hata Türleri ve Etkileri (FMEA)
SWOT Analizi		Ridley
İş Emniyet Analizi (JSA)		

İş sağlığı ve güvenliği açısından, çalışma ortamının ve çalışanların sağlık ve güvenliğini korumak amacıyla mesleki risklerin değerlendirilmesinde risk değerlendirme raporlarının hazırlanması büyük önem taşımaktadır. İş kazaları ve meslek hastalıklarının neden olduğu kayıpları azaltmak için risk değerlendirilmesi, tespit edilen önemli risklerle ilgili düzeltici ve önleyici faaliyetlerin başlatılması açısından kullanılması zorunlu bir bilimsel yöntemdir [33].

Tehlikelerin ortaya çıkarılarak bu tehlikelerin sebep olabileceği risklere karşı önlem alınması, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile zorunlu tutulmuştur [34].

Sektörün gereksinimlerini karşılayacak uygun risk değerlendirme metodunun başarılı bir şekilde kullanılması ile iş sağlığı ve güvenliğinin başarılı bir şekilde yürütülmesi ve böylelikle iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önüne geçilmesi mümkün olmaktadır [35]. Tehlikelerin belirlenmesi, tespit edilen risklerin analizi ve değerlendirilmesi, risk değerlendirmesi sonucunda gereken önlemlerin belirlenerek yerine getirilmesi, alınan önlemlerin kontrol edilmesi adımlarının sistematik olarak uygulamasından oluşan risk yönetimi, iş kazalarını önlemek için organize ve pratik bir çerçeve sağlamaktadır [36].

Risk değerlendirme metotlarında "olasılık" ve "şiddet" bileşenlerinin yanı sıra "frekans", "tespit edilebilirlik", "önceki kaza sonuçları" ve "personel sayısı" gibi bileşenler kullanılarak risk skoru (RS) hesaplanır. Bu değişkenlerin ve değişkenlerdeki değerlerin fazlalığı, metodolojilerin hassaslığını belirlemektedir [36]. L matris yönteminde olasılık ve şiddetin çarpımı RS verirken [37, 38], Fine Kinney yönteminde; frekans [39, 75], FMEA yönteminde; saptanabilirlik [37, 39], X Matris yönteminde; önceki kaza sonuçları ve personel sayısı [41] bu değişkenlere (olasılık ve şiddet) ek olarak RS hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çalışmada uzmanlar tarafından kullanılabilirliği en yüksek olan, Fine-Kinney, Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA), L Matris ve X Matris metotları kullanılmıştır [11, 42].

Fine-Kinney yaklaşımı Avrupa'da yaygın bir uygulama olup, 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun çıkmasıyla birlikte ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [43]. Riskleri derecelendirirken her bir iş bölümüne verilmesi gereken göreceli ağırlıkları gösteren bu teknikte, risk puanı hesaplanırken üç parametre dikkate alınır. Bu üç faktör bir risk puanı elde etmek için çarpılır ve daha sonra riskler sıralanarak tehlikenin derecesine göre düzeltici ve önleyici tedbirler tavsiye edilir [44]. Süreçler için etkileşimli risk hesaplaması, kontrol önlemleri için görev dağılımı, kullanılabilirlik ve daha kapsamlı saha araştırması sağladığından dolayı, en çok kullanılan yöntemlerdendir [43].

FMEA, L Matris ve Fine-Kinney teknikleri gibi yaygın olarak kullanılmaktadır [45]. Sistem ve donanım hatalarının bulunması ve bu hataların etkilerinin belirlenmesi için kullanılan FMEA, İlk kez Amerikan ordusu tarafından geliştirilmiş ve daha sonra, 1960 – 1965 yılları arasında NASA tarafından ay seyahati programlarında kullanılmıştır. Yöntemin başarısı nedeniyle, endüstriyel kullanımları günümüze kadar devam etmiştir. Bunlardan en önemlileri; 1970 ve 1975 yılları arasında ABD havacılık endüstrisi, 1972'de Ford Motor Company, 1975'te bilgisayar üretimi, 1980'de Japon NEC Şirketi, 1988 yılında Chrysler, Ford ve General Motors şeklinde sıralanabilmektedir [46]. Hataların değerlendirildiği [42] FMEA tekniği, önerilen kontrol tedbirleri ile hataları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır [47]. FMEA'da RS olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik parametrelerinin çarpılması ile hesaplanmaktadır [48].

X Matris Metodu, bir analistin kendi başına tamamlaması zor olan karmaşık prosedürleri içeren görevler için kullanılabilen bir tekniktir [49, 50]. Yöntemde, beş yıllık süre boyunca toplanan verileri kullanarak önceki

olayların tekrar etme olasılığı ve kişi sayısı değerlendirilir [49]. Metotta şiddet değeri bulunurken olayın personele, topluma, çevreye ve ekipmana verebileceği zararlar değerlendirildiğinden dolayı şiddet skalası diğer yöntemlerden daha gerçekçidir. Değerlendirme için çarpılan ikili değişkenlerin toplamı (Olasılık*Şiddet) + (Olasılık*Önceki Kazalar) + (Önceki Kazalar*Personel Sayısı) + (Personel Sayısı*Şiddet) RS oluşturur.

Risk değerlendirme metodlarının kullanıldığı lisansüstü çalışmalara bakıldığında, L Matris yönteminin en sık kullanılan yöntem olduğu görülmüştür. Araştırılan 175 lisansüstü çalışmada L Matris yöntemi 84, Fine-Kinney yöntemi 45, FMEA yöntemi 21 kez kullanılmıştır kullanılmışlardır [18]. X Matris kullanımı için 5 yıllık kaza geçmişine ihtiyaç olması, bu yöntemin tercih edilirliliğini büyük ölçüde azaltmaktadır. Aynı zamanda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımları kullanılarak, risk analiz tekniklerinin geliştirilmeye çalışıldığı ve teknikler arasında kıyaslama yaparak önerilerin sunulduğu birçok çalışma mevcuttur [35, 42, 51-54]. Bu çalışmalar, risk değerlendirme metodlarının uygulanmasında gereken tecrübe seviyesi, metod uygulamalarındaki teknik detaylar, metodun uygulanması için takım çalışması gerektirip-gerektirmediği, ön hazırlık süreçlerinin ne kadar zaman alacağı gibi bazı kriterleri değerlendirerek en uygun metodolojinin seçilmesi amacıyla yapılmıştır [35].

Bu çalışmanın amacı, biyogaz üretim tesislerinde risk değerlendirme uygulamaları sırasında metodolojilerin avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurarak, ÇKKV yöntemleri yardımıyla en uygun risk değerlendirme metodolojisini belirlemektir. Bunun için ise sıklıkla kullanılan ÇKKV tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılmıştır. Alternatiflerin kriterlere göre ağırlık puanlarını oluşturarak tutarlı bir çözüm bulmak için [55] çalışmanın parametreleri dahilinde AHS kullanılmıştır [56]. AHS tekniğinde kriterler, risk değerlendirme metodunun yapılabilmesi için gereken "Zaman", risk değerlendirme metodunun "Parametre Sayısı", "Analist Yetkinliği", "Veri Toplama Basamakları", "Sektörel Yaygınlık" ve "Analizin Başarı Oranı" olarak belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları ise Zaman, Parametre Sayısı, Yetkinlik, Veri Toplama Basamakları, Sektörel Kullanılabilirlik, Başarı Oranı için sırasıyla; 0.25, 0.03, 0.09, 0.05, 0.15, 0.43 olarak hesaplanmıştır. Alt kriterler (alternatifler) ise "L Matris", "X Matris", "Fine Kinney" ve "FMEA" olarak belirlenmiştir. Çalışmanın iş güvenliği profesyonelleri kadar ÇKKV yöntemleri ile ilgilenen araştırmacılara da faydalı olacağı ön görülmektedir.

2.2 Analitik hiyerarşi süreci (AHS)

ÇKKV yöntemleri, karar vericilerin uğraşması gereken aynı hedefleri, karmaşık, çelişkili ve öngörülemez koşulları gösterir [57]. İstatistiksel yöntemler, matematiksel ifadeler ve problem çözme modelleri kullanılarak karar verme, en uygun alternatifini seçmenin bir yolu olarak kullanılır [58].

Tablo 3. İkili karşılaştırmada kullanılan önem dereceleri tablosu [67]

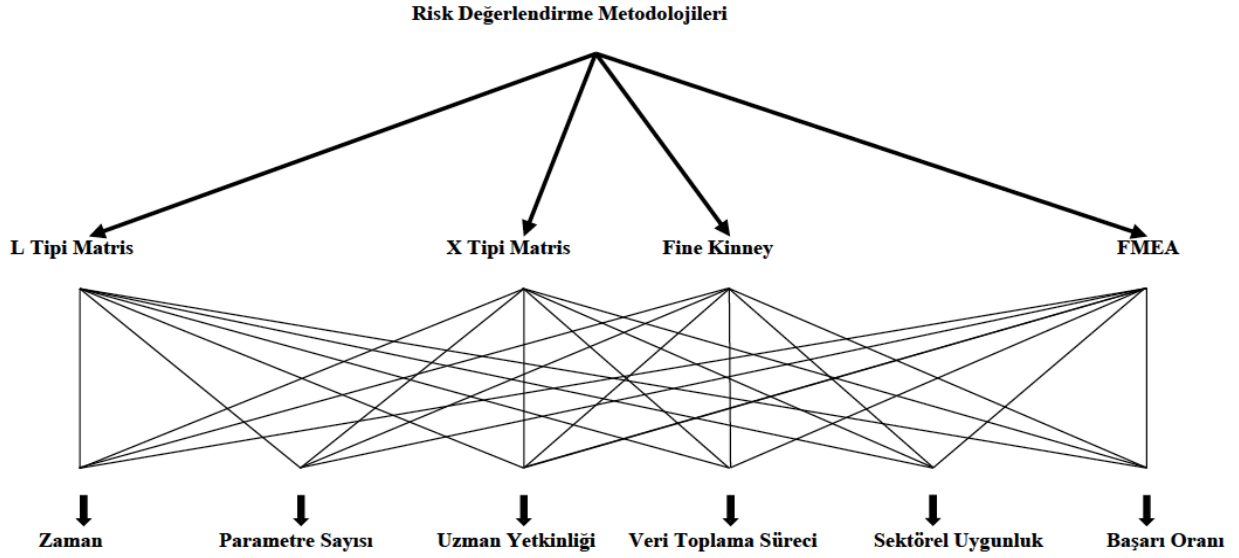
Önem Derecesi	İki Faktör Arasındaki Önemi	Açıklama
1	Eşit	Her iki faktör aynı öneme sahiptir.
3	Orta	Faktörlerden biri diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli	Faktörlerden biri diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli	Faktörlerden biri diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak	Faktörlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir.

Thomas L. Saaty tarafından [59] 1970'li yıllarda literatüre kazandırılmış olan AHS, ölçülebilir ve somut olmayan kriterler veya özelliklerle yönetmek için karar teorisi ve uyumsuzluk çözümü dahil olmak üzere çeşitli alanlara uygulanan bir ölçüm teorisidir [60-62]. AHS yaklaşımı, karmaşık karar problemlerini çeşitli kriterlerle değerlendirerek çözüm bulmak için iyi bir seçenek ve birçok alanda yaygın olarak uygulanan etkili bir yöntemdir [63]. Yaklaşım, ikili karşılaştırma yoluyla, karar vericilerin her bir kıyaslama için öncelikleri (göreceli ağırlık) belirlemesine yardımcı olur [64, 65]. AHS yaklaşımı aynı zamanda, karar verme yazılımı olarak kullanıldığında özellikle kullanıcı dostudur. Bu arada, bu noktaya kadar hem AHS tekniğini hem de ÇKKV yöntemi çok az araştırmada kullanılmıştır [66].

AHS'de temel olarak hiyerarşinin kurulması ilk işlemdir. Daha sonra sırasıyla, alternatiflerin üstünlükleri belirlenir ve son olarak sayısal puanlamalar yapılarak işlem tamamlanır [57]. Hiyerarşinin oluşturulmasının ardından, Tablo 3'teki veriler kullanılarak ikili karşılaştırmada [67] kullanılan önem dereceleri belirlenir [23]. AHS yöntemi uygulamalarında daha önceden belirlenmiş formüllerden yararlanılmıştır [68, 69].

3 Bulgular ve tartışma

Risk kavramı, tehlikenin olası şiddetinin sonucunda meydana gelebilecek zarar ve kayıpların ihtimali anlamına gelmektedir. Risk değerlendirmesinde kullanılan "Kazanın meydana gelme ihtimali: Olasılık", "Kazanın gerçekleşmesi sonucunda etki: Şiddet", "Tehlikeye maruz kalma sıklığı: Frekans", "Tehlikenin fark edilebilirliği: Saptanabilirlik", "Tehlikeye maruz kalan çalışan veya kişi sayısı: Personel sayısı", "Önceki kazaların şiddet sonuçları: Önceki Kaza Sonuçları" olarak tanımlanmaktadır [36]. 6331 sayılı Kanun, işverene risk değerlendirme yapma veya yaptırma (Madde 4-1-c) sorumluluğu yüklemekte, fakat risk değerlendirme yöntemi seçiminde bir zorunluluk getirmemektedir. Yapılacak risk analizi, tehlikelerden kaynaklanacak risklerin değerlendirilmesinin, alınacak tedbirlerin termin sürelerini veya mahiyetini etkileyeceğinden dolayı, çalışmada biyogaz üreten tesisler için en uygun risk değerlendirme metodolojisini belirleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Risk değerlendirme metodolojisi seçiminde ilk olarak Şekil 1'de verilen, probleme ait bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur.



Hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından AHS yöntemi ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. AHS’de seçenekler, kriterlerin her biri için ikili olarak gruplandırılmış ve Tablo 3’teki bilgiler kullanılarak değerlendirilmiştir. Burada alternatiflerin puanlanması, literatür bilgileri ve uzman görüşleri kullanılarak yapılmıştır. AHS hesaplamaları için Microsoft Excel uygulaması kullanılmıştır.

AHS tekniği uygulanırken ilk olarak satırın “i” ve sütunun “j” ile gösterildiği ve $a_{ij} \neq 0$ olan bir A matrisi oluşturulmuştur. A matrisi, Denklem 1’de gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (1)$$

A matrisi oluşturulmasının ardından Denklem 3 kullanılarak oluşturulan B matrisi, tüm değerler aynı aralık içinde değerlendirilerek Denklem 2 yardımıyla normalize edilmiş değerlerin oluşturulması için kullanılmıştır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Daha sonra her bir kritere göre alternatiflerin puanlarının hesaplanması, normalize edilmiş tüm kriterlerin ağırlıklarının toplamının Denklem 4’teki formül yardımıyla kriter sayısına bölünmesi ile Denklem 5’te oluşan son matris bulunmuştur.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{n} \quad (4)$$

$$W = [w_i]_{n \times 1} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Denklem 6 kullanılarak, kriterlerin ağırlık vektörü (C) ile alternatiflerin kriter puanları matrisi (S) çarpılmış ve sonuç olarak alternatiflerin genel puanı (P) hesaplanmıştır.

$$P = C * S = [w_i]_{n \times 1} * [w_{ij}]_{n \times n} \quad (6)$$

$$P = [P_i]_{1 \times n} \quad (7)$$

Genel puan hesaplaması bitiminde genel puanı en yüksek alternatiften başlayarak sıralama yapılır. AHS tekniğinde son olarak subjektif olan algıların tutarlılığını ve görel ağırlıkların doğruluğu tespit etmek amacıyla, Denklem 6’da bulunan λ_{maks} (vektörün en büyük özdeğeri) ve n (toplam kriter sayısı) kullanılarak Tutarlılık İndeksi (CI) ve Denklem 9’da bulunan tutarlılık indeksi (CI) ve Rastgele Değer İndeksi (RI) kullanılarak Tutarlılık Oranı (CR) katsayıları hesaplanmıştır.

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Sonuçların daha güvenilir olabilmesi için tutarlılık indeksi (CI) 0.1’den küçük olmalıdır. Tutarlılık göstergeleri 1-10 boyutlu matrisler için, Tablo 4’teki gibidir.

Tablo 4. Rastgele değer indeksleri

Kriter Sayısı (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele Değer İndeksi (RI)	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

AHS'nin ilk aşaması modelde kullanılan kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesidir. Kriter ağırlıklandırma yaygın olarak kullanılan metodolojilerden biri kriterlerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırma matrisi bu çalışmada yalnızca kriterlerin ikili kıyaslanmasında değil, aynı zamanda alternatiflerin her bir kritere göre karşılaştırılmasında da kullanılmıştır. **Tablo 5**'te bu çalışmada kullanılan kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. Bu çalışmaya özel olarak kullanılan kriterler zaman (K1), parametre sayısı (K2), yetkinlik (K3), veri toplama basamakları (K4), sektörel (K5), başarı oranı (K6) kriterleridir. **Tablo 5**'in genel olarak yorumlanması aşağıdaki gibidir.

- K1 kriteri K2 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K2 kriterine göre “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K1 kriteri K3 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K3 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” ile “Kuvvetli Derecede Önemli” arasında olduğu görülmektedir. K1 kriteri K4 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K4 kriterine göre “Kuvvetli Derecede Önemli” ile “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” arasında olduğu görülmektedir. K1 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K1 kriterinin K5 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K1 kriteri K6 kriteri ile kıyaslandığında K6 kriterinin K1 kriterinden “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir.
- K2 kriteri K3 kriteri ile kıyaslandığında K3 kriterinin K2 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” ile “Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K2 kriteri K4 kriteri ile kıyaslandığında K4 kriterinin K2 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K2 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K5 kriterinin K2 kriterine göre “Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K2 kriteri K6 kriteri ile kıyaslandığında K6 kriterinin K2 kriterine göre “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” ile “Mutlak Derecede Önemli” arasında olduğu görülmektedir.
- K3 kriteri K4 kriteri ile kıyaslandığında K3 kriterinin K4 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K3 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K5 kriterinin K3 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K3 kriteri K6 kriteri ile kıyaslandığında K6 kriterinin K3 kriterine göre “Kuvvetli Derecede Önemli” ile “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” arasında olduğu görülmektedir.
- K4 kriteri K5 kriteri ile kıyaslandığında K5 kriterinin K4 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” olduğu görülmektedir. K4 kriteri K6 kriteri ile kıyaslandığında K6 kriterinin K4 kriterine göre “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir.

- K5 kriteri K6 kriteri ile kıyaslandığında K6 kriterinin K5 kriterine göre “Orta Derecede Önemli” ile “Kuvvetli Derecede Önemli” olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Kriterlerin ikili karşılaştırılması

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1.00	7.00	4.00	6.00	3.00	0.33
K2	0.10	1.00	0.25	0.33	0.20	0.13
K3	0.30	4.00	1.00	3.00	0.33	0.17
K4	0.20	3.00	0.30	1.00	0.33	0.14
K5	0.30	6.00	3.00	4.00	1.00	0.25
K6	3.00	8.00	6.00	7.00	4.00	1.00

Tablo 5'e göre kriterlerin karşılaştırılmasının **Denklem 8**'e göre hesaplanan CI değeri 0.086 hesaplanırken, **Tablo 4**'e göre RI değeri de 1.24 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değerinin 0.07 olduğu ortaya çıkmış ve bu değer (CR) 0.1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Tutarlılık ve anlamlılık işlemlerine göre kriterlerin kullanılabilir ağırlıkları **Tablo 6**'da gösterilmektedir. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde görüş alınan uzmanların değişmesi halinde hesaplamaların da değişeceği unutulmamalıdır.

Tablo 6. Kriterlerin ağırlıklandırılmış puanları

Kriterler	Ağırlıklı Puanlar
Zaman	0.25
Parametre Sayısı	0.03
Yetkinlik	0.09
Veri Toplama Basamakları	0.05
Sektörel	0.15
Başarı Oranı	0.43

Tablo 7'de zaman kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. **Tablo 7**'ye göre hesaplanan CI değeri 0.01 hesaplanırken ve kriter sayısı 4 olduğundan dolayı RI değeri 0.90 (**Tablo 4**) olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değerinin 0,01 olduğu ortaya çıkmış ve bu değer (CR) 0.1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Zaman kriterine göre en kısa sürede hesaplanarak en iyi değere sahip olan alternatif 0.146 puan ile L matris (Y1) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y3 alternatifi olan Fine Kinney (0.059), Y4 alternatifi olan FMEA (0.031) ve Y2 alternatifi olan X matristir (0.017).

Tablo 7. Zaman kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve anlamlılığı

	Y1	Y2	Y3	Y4
Y1	1.00	7.00	3.00	5.00
Y2	0.14	1.00	0.25	0.50
Y3	0.33	4.00	1.00	2.00
Y4	0.20	2.00	0.50	1.00
Toplam	1.67	14.00	4.75	8.50

Tablo 8'de parametre sayısı kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. **Tablo 8'e** göre hesaplanan CI değeri 0.01 hesaplanırken, **Tablo 4'e** göre RI değeri de 0.90 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değerinin 0.01 olduğu ortaya çıkmış ve bu değer (CR) 0.1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Parametre sayısı kriterine göre en az kullanılarak hesaplanarak en iyi değere sahip olan alternatif 0.016 puan ile L matris (Y1) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, A2 alternatifi olan X matris (0.006), Y3 alternatifi olan Fine Kinney (0.006) ve Y4 alternatifi olan FMEA'dır (0.002).

Tablo 8. Parametre sayısına kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve anlamlılığı

	Y1	Y2	Y3	Y4
Y1	1.00	3.00	3.00	6.00
Y2	0.33	1.00	1.00	3.00
Y3	0.33	1.00	1.00	3.00
Y4	0.16	0.33	0.33	1.00
Toplam	1.83	5.33	5.33	13.00

Tablo 9'da yetkinlik kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. **Tablo 9'a** göre hesaplanan CI değeri 0.01 hesaplanırken, **Tablo 4'e** göre RI değeri de 0.90 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değerinin 0.01 olduğu ortaya çıkmış ve bu değer (CR) 0.1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Yetkinlik kriterine göre en az yetkinlik gerektirdiği için en iyi değere sahip olan alternatif 0.050 puan ile L matris (Y1) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y3 alternatifi olan Fine Kinney (0.020), Y4 alternatifi olan FMEA (0.010) ve Y3 alternatifi olan X matristir (0.006).

Tablo 9. Yetkinlik kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve anlamlılığı

	Y1	Y2	Y3	Y4
Y1	1.00	7.00	3.00	5.00
Y2	0.14	1.00	0.25	0.50
Y3	0.33	4.00	1.00	2.00
Y4	0.20	2.00	0.50	1.00
Toplam	1.67	14.00	4.75	8.50

Tablo 10'da veri toplama basamaklarına göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. **Tablo 10'a** göre hesaplanan CI değeri 0.01 hesaplanırken, **Tablo 4'e** göre RI değeri de 0.90 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değerinin 0.01 olduğu ortaya çıkmış ve bu değer (CR) 0.1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Veri toplama basamakları kriterine göre en az veri gerektirdiği için en iyi değere sahip olan alternatif 0.030 puan ile L matris (Y1) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y3 alternatifi

olan Fine Kinney (0.012), Y4 alternatifi olan FMEA (0.006) ve Y2 alternatifi olan X matristir (0.003).

Tablo 10. Veri toplama basamakları kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve anlamlılığı

	Y1	Y2	Y3	Y4
Y1	1.00	7.00	3.00	5.00
Y2	0.14	1.00	0.25	0.50
Y3	0.33	4.00	1.00	2.00
Y4	0.20	2.00	0.50	1.00
Toplam	1.67	14.00	4.75	8.50

Tablo 11'de veri toplama basamaklarına göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. **Tablo 11'e** göre hesaplanan CI değeri 0.004 hesaplanırken, **Tablo 4'e** göre RI değeri de 0.90 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değerinin 0.004 olduğu ortaya çıkmış ve bu değer (CR) 0.1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Sektörel kullanım kriterine göre en fazla sektörde kullanılabildiği için en iyi değere sahip olan alternatifler 0.068 puan ile L matris (Y1) ve X matristir (Y2). Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y3 alternatifi olan Fine Kinney (0.038), Y4 alternatifi olan FMEA (0.011) olarak belirlenmiştir.

Tablo 11. Sektör kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve anlamlılığı

	Y1	Y2	Y3	Y4
Y1	1.00	1.00	2.00	6.00
Y2	1.00	1.00	2.00	6.00
Y3	0.50	0.50	1.00	4.00
Y4	0.16	0.16	0.25	1.00
Toplam	2.66	2.66	5.25	17.00

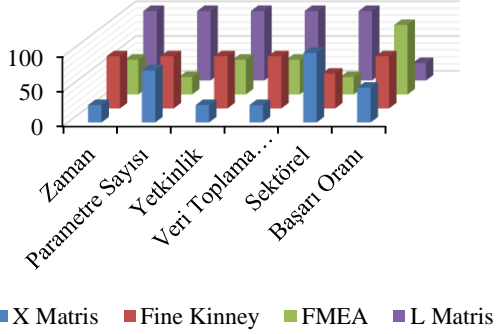
Tablo 12'de başarı oranı göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi verilmektedir. **Tablo 12'ye** göre hesaplanan CI değeri 0.02 hesaplanırken, **Tablo 4'e** göre RI değeri de 0.90 olarak seçilmiştir. Bu iki veriye göre CR değerinin 0.02 olduğu ortaya çıkmış ve bu değer (CR) 0.1'den küçük olduğu için yapılan işlemler istatistiksel olarak tutarlı ve anlamlıdır. Başarı oranı kriterine göre en fazla başarılı sonuç veren alternatif 0.546 puan ile FMEA (Y4) olarak belirlenmiştir. Diğer alternatifler ise sırasıyla, Y3 alternatifi olan Fine Kinney (0.373), Y2 alternatifi olan X matris (0.146) ve Y1 alternatifi olan L matristir (0.074).

Tablo 12. Başarı oranı kriterine göre alternatiflerin ikili karşılaştırılması ve anlamlılığı

	Y1	Y2	Y3	Y4
Y1	1.00	0.50	0.20	0.14
Y2	2.00	1.00	0.33	0.20
Y3	5.00	3.00	1.00	0.50
Y4	7.00	5.00	2.00	1.00
Toplam	15.00	9.50	3.53	1.84

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre "Zaman" için CI=0.01, "Parametre Sayısı" için CI=0.02, "Yetkinlik" için CI=0.01, "Veri Toplama Basamakları" için CI=0.01,

“Sektörel Uygulanabilirlik” için $CI=0.06$, “Başarı Oranı” için $CI=0.02$ olarak belirlenmiştir. AHS yöntemi ile hesaplanan kriterlerin alternatiflere göre ağırlıkları, Tablo 5’te gösterilmektedir.



Şekil 2. Kriterlere göre alternatiflerin ağırlıkları

Şekil 2 incelendiğinde, veri toplama basamaklarının azlığı, parametre sayısının en az olduğu matris olması ve buna bağlı olarak fazla yetkinlik istemeyen [34] bir metot olduğu için kısa zamanda yapılan L Matris, bu özelliklerinden dolayı AHS yönteminde yüksek puanlar almıştır. Ancak bu avantajlarının yanı sıra çalışmada değerlendirilen 4 yöntem içinde en düşük “Başarı Oranı” puanına sahip olan yöntem olması nedeniyle toplam puanını düşüklüğü nedeniyle 3. sırada yer almıştır. Başarı puanının düşük olması, metodun uygulanması aşamasında analizi yapan analist tercihlerinin büyük değişikliklere yol açabilecek olmasından kaynaklanmaktadır [70, 71]. X Matris yönteminde, 5 yıllık geçmiş kaza incelemesi yapılması nedeniyle [72], veri toplama basamaklarının en zor olduğu [36] ve buna bağlı olarak, çalışmada değerlendirilen 4 matris arasında hazırlık aşaması en uzun süren matris olduğu ortaya konulmuştur. Aynı zamanda X Matris, analizi yapacak kişi yetkinliğinin diğer yöntemlerden fazla olması gerektiğinden [72] “Yetkinlik” açısından en düşük puana sahiptir. Bu dezavantajlarının yanında bu metot, L Matris ile sektörel uygulanabilirlik açısından ilk sırada yer almaktadır. Değerlendirme kriterleri açısından yüksek bir puana sahip olan Fine Kinney metodu, tüm kriterler değerlendirmelerinde “Başarı Oranı” dahil olmak üzere “Zaman”, “Parametre Sayısı”, “Yetkinlik” ve “Veri Toplama Basamakları” sıralamalarında ikinci sırayı alarak toplam puanlamada benzer şekilde ikinci sırada yer almıştır. Başarı oranı en yüksek olan FMEA metodu, parametre sayısının fazlalığı [73] ve sektörel uygulanabilirlik açısından en düşük puana sahip olarak dördüncü sırada, “Zaman”, “Yetkinlik” ve “Veri Toplama Basamakları” kriterlerinde ise üçüncü sırada yer almış bir yöntem olmasına rağmen, başarı oranı ve toplam puanları en yüksek olan metot olduğu ortaya çıkmıştır.

4 Sonuçlar

Biyogaz üreten tesislerde iş sağlığı ve güvenliği açısından uygun bir çalışma ortamı sağlanabilmesi çok önemlidir. Güvenli bir çalışma ortamı için yapılması gereken en önemli işlerden biri de risk değerlendirme

çalışmalarıdır. Genel olarak risk değerlendirme yapılırken seçilen metodoloji, analistin tercihleri ve tecrübesiyle belirlenmektedir. Bu tercih genellikle hem fazla tecrübe gerektirmediğinden hem de kısa sürede yapılması nedeniyle L Matristen yana kullanılmaktadır. Mevzuat içerisinde hangi tehlike sınıfına hangi metodolojinin seçileceğine dair bir sınırlama olmaması bu matrisin kullanılmasını engellemektedir. Fakat L matriste kullanılan değişkenlerin azlığı nedeniyle, bu yöntem kullanılarak hazırlanan risk değerlendirme çalışmalarının başarıya ulaşabilmesi, analistin tecrübesi, ön görüşü ve dikkati sayesinde olabilmektedir. Bu durum da ortamda bulunan tehlike kaynaklarının değerlendirilmesini ve bu tehlikelerin oluşturacağı risklerin tanımlanmasını güçleştirmekte ve hata yapma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle bu çalışma ile risk değerlendirme yapan analistin tercihlerine bırakılmadan, metodolojilerin avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek ve yöntemlere sayısal değerler verilerek en uygun risk değerlendirme yöntemi belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında AHS ile elde edilen sonuçlar “Başarı Oranı” dahil edilmeden değerlendirildiğinde, en kısa sürede yapılması, değerlendirilmesi gereken parametre sayısının en az olması, en az yetkinlik gerektiren metot olması ve sektörel uygunluğu en iyi olan metotlardan olması gibi avantajlarından dolayı L Matris yöntemi en yüksek puanla (0.310) ilk sırada yer almaktadır. Ancak, kazaların engellenmesi ve meslek hastalıklarının önlenmesi amacıyla tehlikeli ve çok tehlikeli sınıfta yer alan işletmeler için “Başarı Oranı” kriterinin ön planda tutulduğu yöntemin seçilmesi gerekmektedir. L Matris yönteminin analist dostu görünmesinin yanında, yapılacak olan küçük hatalar nedeniyle büyük kazalar ve meslek hastalıkları yaşanabileceğinden, L Matris, tek başına kullanılmamalı ve başka bir metot ile desteklenmelidir. Dezavantajları ve avantajları göz önüne alınarak “Başarı Oranı” kriteri hesaplandığında biyogaz tesislerinde, FMEA risk değerlendirme yönteminin en yüksek başarıya sahip olan yöntem olduğu ve 0.605 puanla ilk sırada yer aldığı görülmüştür. Analiste birçok avantajlar sunan L Matrisin “Başarı Oranı” en düşük olan yöntem olması nedeniyle diğer avantajlarına rağmen 0.384 puanla 3. sırada yer almaktadır. Fine Kinney metodu FMEA’nın ardından yüksek puanlar alarak 0.507 puanla 2. sırada yer almıştır. “Zaman”, “Parametre Sayısı”, “Yetkinlik” ve “Veri Toplama Basamakları” kriterlerinden aldığı düşük puanlar nedeniyle X Matris 0.246 puanla son sırada yer almıştır. Bu sonuçlar ile biyogaz tesislerinde FMEA ilk tercih edilebilecek yöntem olurken, Fine Kinney ikinci sırada tercih edilebilecek yöntem olarak değerlendirilmiştir. X Matris yönteminin 5 yıllık kaza geçmişi verilerine ihtiyaç duyması, yetkinliğin fazla olması gerekliliğinden dolayı kullanımının zor olduğu ve başarı oranının FMEA ve Fine Kinney Metotlarına göre düşük olması nedeniyle uygulanmasının zor olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda, L Matris kullanımının da diğer iki yöntemle göre biyogaz tesisleri için tek başlarına uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Çalışmalarda yardımlarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖZGÜR'e teşekkür ederim.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %11

Kaynaklar

- [1] E. Kapluhan, Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanımı. Marmara Coğrafya Dergisi, 5 (15), 97-125, 2014. <https://doi.org/10.14781/mcd.98631>.
- [2] A. Erensoy ve N. Çek, Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde Kullanılan Saf Kültür Mikroorganizmaları ve Genel Özellikleri. European Journal of Science and Technology. 18, 109-117, 2020. <https://doi.org/10.31590/ejosat.669787>.
- [3] S. Üçok, Sebze ve meyve pazar atıklarının biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2016.
- [4] İ.T. Yılmaz ve M.A. Gümüş, Research on biogas-diesel dual fuel diesel engine. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (3), 919-927, 2017. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.337645>.
- [5] G. Koçar, A. Eryaşar, Ö. Ersöz, Ş. Arıcı, G. Bayrakçı ve E. Aytav, Kırsal Kesim Biyogaz Teknolojilerinin Geliştirilmesi ve Yaygınlaştırılması Güdümlü Teknoloji Geliştirme Projesi Proje No: 07/Dpt/003, 2013.
- [6] M. Koyuncu ve H. Akgün, Çiftlik Hayvanları ve Küresel İklim Değişikliği Arasındaki Etkileşim. U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 32 (1), 151-164, 2017.
- [7] H. Şenol, E.A. Elibol ve Ü. Açikel, Biyogaz üretimi için Ankara'nın başlıca organik atık kaynakları. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (2), 15-28, 2017. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.339261>.
- [8] BEPA, Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlası. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Erişim:29.11.2022. <https://bepa.enerji.gov.tr/>, 2022.
- [9] T. Seadi, D. Rutz, H. Prassl, T. Finsterwalder, M. Kottner, S. Volk and R. Janssen, Biogas Handbook, University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark, 2008.
- [10] E.N. Bilici, İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin biyogaz tesisinde uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [11] N. Mutlu ve S. Altuntaş, Türkiye'de 1974-2016 Yıllarında İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapılan Lisansüstü Tezlerin Profili. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (2), 509-535, 2017.
- [12] E.N. Bilici, İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin biyogaz tesisinde uygulanması. Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Türkiye, 2019.
- [13] İTST, İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği. (İlk Yayın Tarihi: 26.12.2012 RG:28509; En Son Değişiklik Tarihi: 18.03.2022, RG: 31782), 2022.
- [14] C. Göreke, ve C. Karagüzel, Biyogazdan Enerji Üreten Bir Tesisin Entegre Risk Analiz Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. Journal of Scientific Reports-B. 2021.
- [15] M. Ulu and S. Birgün, A New Model Proposal for Occupational Health and Safety. In Digitizing Production Systems, 347-356, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90421-0_29.
- [16] G. Çağlar ve M. Demirbilek, Krom Cevher Üretimi ve Hazırlık Galerisi Yapım İşleri Risk Değerlendirmesi. Journal of Occupational Health and Safety Academy. 5 (2), 66-75, 2022. <https://doi.org/10.38213/ohsacademy.1128841>.
- [17] A. Ürünveren ve İ. Erol, Yüksek Basıncılı Boru Hat Montajında L-Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 6 (1), 1-13, 2022. <https://doi.org/10.33720/kiugd.1032441>.
- [18] Ö. Akkoyun ve M. Okur, Türkiye'de Lisansüstü Çalışması Olarak Yapılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 5 (2), 109-120, 2021. <https://doi.org/10.33720/kisugd.927755>.
- [19] H. Altundağ ve M. Koçak, Tersanelerde Yangın Güvenliği ve Risk Analizi. Dirençlilik Dergisi, 1025747, 5 (2), 245-263, 2021. <https://doi.org/10.32569/resilience.1025747>.
- [20] M.O. Engür, Ormanda Yüksekte Çalışma: "Tırmanıcı/Budayıcı" Orman Çalışanlarının Güvenlik Performansının Geliştirilmesine Yönelik Önlemler. Ergonomi, 4 (1), 22-34, 2021. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.882021>.
- [21] M. Minaz, K. Ak ve İ.Z. Kurtoğlu, Alabalık Yetiştiricilik Tesislerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Analizi. İş Sağlığı ve Güvenliği Akademik Dergisi, 4 (3), 14-21, 2021. <https://doi.org/10.38213/ohsacademy.989585>.
- [22] K.K. Göncü ve O. Çetin, Hastanelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Süreçleri: Patoloji Laboratuvarı Risk Değerlendirme Çalışması. Social Sciences Research Journal, 10 (2), 462-474, 2021.
- [23] C. Özgür, Dezenfeksiyon Ünitesi Risk Analizi: İçme Suyu Arıtma Tesisi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10 (1), 16-22, 2021. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.741014>.
- [24] B. Gür, Ş. Yavuz, A.D. Çakır ve D.A. Köse, Güneş Enerjisi Santralinde Matris Risk Analiz Yöntemiyle Tehlike ve Risklerin Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 23, 497-511, 2021. <https://doi.org/10.31590/ejosat.881614>.
- [25] K. Uray, Demiryolu Bakım İşlerinde Matris Yöntemi Kullanılarak Risklerin Olası Etkilerinin Belirlenmesi.

- Afet ve Risk Dergisi, 4 (2), 121-134, 2021. <https://doi.org/10.35341/afet.975612>.
- [26] Ş. Ünverdi ve S. Çetinyokuş, Bir Kamu Kurumunda Bulunan Asbest Uygulama Merkezi ve SEM Laboratuvarında L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 5 (2), 99-107, 2021. <https://doi.org/10.33720/kisgd.977714>.
- [27] H.G. Aytepe, O. Dalyan, H. Dalyan ve M. Pişkin, Bazı Balıkçı Teknelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği. *İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, 4 (3), 1-13, 2021. <https://doi.org/10.38213/ohsacademy.1020191>.
- [28] İ. Ateş, S. Salman and Y. Bozkurt, Assessment of Hazards and Risks in Glass Products Production and Processing Business During The Pandemic. *NÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi*. 10 (2), 855-865, 2021. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.874295>.
- [29] S. İrmak, H. Peker, N. Ersen ve İ. Akyüz, Artvin'deki Orman Ürünleri İşletmelerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinin Risk Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 278-291, 2021. <https://doi.org/10.24011/barofd.1039991>.
- [30] Ö. Akkoyun ve Ğ. Ekinci, Farklı ISG-Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Bir Yeraltı Maden İşletmesinde Karşılaştırmalı Uygulanması ve Yöntem Önerisi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 60 (4), 181-189, 2021. <https://doi.org/10.30797/madencilik.937920>.
- [31] G.E. Atakol, A. Kahriman, S. Bağdatlı ve B. Furat, Yerüstü Patlatmasında İş Güvenliği Risk Değerlendirme Yöntemi: Kirnati-Gürcistan Hidroelektrik Santrali Projesi Mühendislik Uygulamaları. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 3 (2), 113-127, 2019. <https://doi.org/10.33720/kisgd.502426>.
- [32] H. Kantarcıoğlu, A. Kantarcıoğlu ve H. Dinç, Sağlık Kurumlarında İş Sağlığı ve Güvenliği: Kamu Hastanelerinde Risk Değerlendirme Yöntemlerine Yönelik Bir İnceleme. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 7 (1), 61-66, 2020. <https://doi.org/10.26450/jshsr.2401>.
- [33] M. Özgür, Metal Sektöründe Risk Analizi Uygulanması, İş Müfettişliği Yardımcılığı Etüdü, 2013.
- [34] A. Aker ve T.Ö. Özçelik, Metal Sektöründe 5x5 Matris ve Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 4 (1), 65-75, 2020. <https://doi.org/10.33720/kisgd.630799>.
- [35] A. Adem, İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanılan Risk Analizi Tekniklerinin Değerlendirilmesi İçin Bir Rehber Önerisi. *Politeknik Dergisi*. 25 (3), 1319-1328, 2022. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1114897>.
- [36] Ö. Kaçar ve A.R. Motorcu, Aynı Tehlike ve Riskler için Farklı Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Otomotiv Bakım Onarım Servisi için Örnek Bir Çalışma. *Conference: 5.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, sayfa 257-267. İstanbul/Türkiye, 2021.
- [37] M.F. Ak, Comparison of Risk Assessment Methods within the Scope of Occupational Safety in the Construction Sector. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 272-282, 2020. <https://doi.org/10.31590/ejosat.670906>.
- [38] H. Bayraktar, E. Sahtiyancı ve A. Kuru, Risk Değerlendirme Matris Yöntemi Kullanarak Okullarda Deprem Kaynaklı Yapısal Olmayan Risklerin Olası Etkilerinin Belirlenmesi. *Afet ve Risk Dergisi*, 2 (2), 128-152, 2019. <https://doi.org/10.35341/afet.624745>.
- [39] A. Özkan, İki farklı iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme metodolojisinin bir işletmede uygulamalı karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye*, 2019.
- [40] C.G. Feryal, K.D. Atalay ve E. Eraslan, HTEA Temelli CRITIC Yöntemi ile Bir Devlet Hastanesinde Risk Değerlendirme Uygulanması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 176-187, 2018. <https://doi.org/10.21923/jesd.349717>.
- [41] T. Pırlı ve R. Erol, Risk Analizi: Bir Otomotiv Fabrikasında Gerçekleştirilen X Tipi Karar Matrisi Uygulanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (3), 91-98, 2016.
- [42] N.F. Karakurt, İ. Hekimoğlu ve A. Güneri, Best Worst Metodu ile İnşaat Sektöründe Risk Değerlendirmesine Yeni Bir Yaklaşım. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9 (4), 1141-1154, 2021. <https://doi.org/10.21923/jesd.770437>.
- [43] B. Eskiömeroğlu, Tam teşekküllü spor komplekslerinin risk analizlerinin fine kinney ve 5x5 l matris yöntemleri ile yapılarak karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gedik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye*, 2018.
- [44] J. Uzundede, Otomobil bakım servislerinde iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin sağlanmasına yönelik bir örnek alan incelemesi. *Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Türkiye*, 2017.
- [45] M.E. Devren, Asansör sistemlerinde fmea ve fine-kinney metodlarının risk değerlendirmelerinin karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye*, 2016.
- [46] D. Durhan, Hata türü etkileri analizi (fmea) ve bir uygulama. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye*, 2006.
- [47] M. Turan, Transformator üreten bir firmada bulanık fmea ile risk analizi uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye*, 2018.
- [48] H. Durmuş, Ö. Yurtsever ve B. Yalçın, Bir Çay Fabrikasında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleri ile Risk Değerlendirmesi. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.*, 33 (2), 287-298, 2021. <https://doi.org/10.7240/jeps.814798>.
- [49] İ. Topal, Risk Değerlendirmesi Metotları. *İzmir, Bayraklı: dataakademi*, 2017.
- [50] C.A. Reis, Agregat üretiminde kullanılan patlayıcı maddelerin uygulamasında iş sağlığı ve güvenliğinin değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*

- Esenyurt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [51] A.Ç. Boyacı, M.B. Solmaz ve M. Kabak, Kararsız Bulanık Dilsel Terim Setleri ile İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Süreci İçin Model Önerisi: Plastik Sektöründe Bir Uygulama. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36 (2), 1041-1054, 2021. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.632323>.
- [52] H. Erdal, İş Sağlığı ve Güvenliği İçin DEMATEL-ARAS Tabanlı Risk Değerlendirme Metodolojisi ve Bir Uygulama. MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8 (2), 1831-1853, 2019. <https://doi.org/10.33206/mjss.465681>.
- [53] P. Toktaş ve G.F. Can, Şantiyelerin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Düzeylerine Göre KEMIRA-M Yöntemi ile Sıralanması. Ergonomi, 1 (3), 123-136, 2018. <https://doi.org/10.33439/ergonomi.480397>.
- [54] B. Şişman, Risk Evaluating By Fuzzy Ahp And Fuzzy Vikor Methods In Failure Mode And Effects Analysis For Automotive Sector. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9 (18), 234-250, 2017. <https://doi.org/10.20875/makusobed.302942>.
- [55] R.W. Saaty, The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used. Math Modell, 9, 161-176, 1987. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).
- [56] K. Ransikarbum, R. Pitakaso, N. Kim and J. Ma, Multicriteria Decision Analysis Framework for Part Orientation Analysis in Additive Manufacturing. J Comput Des Eng, 8 (4), 1141-1157, 2021. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwab037>.
- [57] N. Ömürbek, M. Karaatlı, ve T. Yetim, Analitik Hiyerarşi Sürecine Dayalı TOPSIS ve VIKOR Yöntemleri ile ADİM Üniversitelerinin Değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Dr. Mehmet YILDIZ Özel Sayısı, 189-207, 2014.
- [58] K.B. Atıcı ve A. Ulucan, Enerji Projelerinin Değerlendirilmesi Sürecinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları ve Türkiye Uygulamaları, H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 27 (1), 161-186, 2009.
- [59] M. Bertolini, and M. Bevilacqua, A Combined Goal Programming-AHP Approach to Maintenance Selection Problem. Reliability Engineering and System Safety. 91, 839-848, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.res.2005.08.006>.
- [60] T. Dar, N. Rai and A., Bhat, Delineation of Potential Groundwater Recharge Zones Using Analytical Hierarchy Process (AHP). Geology, Ecology, and Landscapes, 22 (3), 1–16, 2020. <https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1726562>.
- [61] H.J. Mohammed, I.A.M. Al-Jubori and M.M. Kasim, Evaluating Project Management Criteria Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process. AIP Conference Proceedings, 2138 (1), 400181– 400186, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5121097>.
- [62] S. Hashemi, A. Marzuki, H.J. Mohammed and S. Kiumarsi, The Effects of Perceived Conference Quality on Attendees. Behavioural Intentions. Anatolia, 31 (3), 360–375, 2020. <https://doi.org/10.1080/13032917.2020.1729215>.
- [63] G. Baffoe, Exploring the Utility of Analytic Hierarchy Process (AHP) in Ranking Livelihood Activities for Effective and Sustainable Rural Development Interventions in Developing Countries. Evaluation and Program Planning, 72, 197–204, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2018.10.017>.
- [64] H.J. Mohammed, M.M. Kasim and I.N. Shaharane, Evaluation of e-learning Approaches Using AHP-TOPSIS Technique. Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, 10 (1), 7–10, 2018.
- [65] P.D. Marinis and G. Sali, Participatory analytic hierarchy process for resource allocation in agricultural development projects. Evaluation and Program Planning, vol. 80, 101793, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2020.101793>.
- [66] H.J. Mohammed and H.A. Daham, Analytic Hierarchy Process for Evaluating Flipped Classroom Learning. Computers, Materials & Continua, 2021. <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.014445>.
- [67] Y. Wind and T.L. Saaty, Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process, Management Science, 26, 641-658, 1980. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641>.
- [68] A. Özbek, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü, Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara, 2017.
- [69] B.F. Yıldırım ve E. Önder, Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Yayıncılık, Bursa, 2018.
- [70] G.S. Tantoğlu, Mermer işletme sektörünün iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi ve 3t risk değerlendirme yöntemi ile bir uygulama çalışması yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2016.
- [71] S. Önder, M. Önder ve F. Çiçek, Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemi ile Bir Mermer Fabrikası'nda Risk Değerlendirmesi. Yer Altı Kaynakları Dergisi, 22, 13-24, 2022.
- [72] P. Tekin ve R. Erol, Risk Analizi: Bir Otomotiv Fabrikasında Gerçekleştirilen X Tipi Karar Matrisi Uygulaması. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (3), 91-98, 2016. <https://doi.org/10.17780/ksujes.79525>.
- [73] D. Topuksak, 3T risk değerlendirmesi yönteminin etkinliğinin artırılmasına yönelik bir yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2018.
- [74] M. Narlı, E. Göçmen and O. Derse, Risk Assessment Using a Novel Hybrid Method: a Case Study at The Biochemistry Department. Hacettepe Journal of Health Administration, 24 (3), 571-588, 2021.

