



KÜRESEL BULANIK KÜMELER İLE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Esra ÇAKIR*, Ziya ULUKAN

Galatasaray Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Küresel Bulanık Sayılar,
Bulanık Mantık Güvenilirlik
Analizi,
Geri Dönüşüm Tesisi
Güvenilirlik Değerlendirmesi,
Sürdürülebilir Çevre.*

Öz

Geri dönüşüm süreci, sürdürülebilir bir çevre için atık yönetiminde önemli bir adımdır. Ancak, geri dönüşüm sürecindeki bazı adımlar insan sağlığı için risk oluşturabilir. Depolamada yetersizlik nedeniyle açık alanda uzun süre kalan oksitler çevreyi tehdit edebilir. Makinelerde oluşan insan veya yazılım kaynaklı hatalar nedeniyle zehirli atıklar çevreye yayılabilir. Bu nedenle, geri dönüşüm tesislerinde oluşabilecek birçok problemi öngörebilmek ve doğru çalışma sürecini tasarlayabilmek için sistem güvenilirliği şarttır. Bu çalışmada, geri dönüşüm tesislerinin sistem güvenilirliği için bir yöntem önerilmiştir. Güvenilirliği ölçmek için alanında uzman kişilerce ölçütler ve sistemin bu ölçütlere uygunluğu belirlenir. Bu bilgilere bağlı olarak güvenilirlik göstergesi hesaplanır. Performans önem göstergesi hesaplanarak kritik durumda olan ve güvenilirliği etkileyen en riskli gruplar tespit edilir. Önerilen yöntemde ölçüt değerlendirmelerinde küresel bulanık sayılardan yararlanılmaktadır. Bulanık ifadelerle oluşturulan performans ve güvenilirlik göstergeleri kullanılarak sistemin güvenilirlik seviyesi belirlenmiştir. Böylece, sistem güvenilirliğini etkileyen öncelikli sorunlar tespit edilmiştir. Uygulama için literatürde var olan bir çalışmadan yararlanılmış, analizin geçerliliğini göstermek için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

RELIABILITY ANALYSIS WITH SPHERICAL FUZZY SETS

Keywords

*Spherical Fuzzy Set,
Fuzzy Logic Reliability
Analysis,
Recycling Facility Reliability
Evaluation,
Sustainable Environment.*

Abstract

The recycling process is an important step in waste management for a sustainable environment. However, some steps in the recycling process can pose a risk to human health. Oxides that remain in the open area for a long time due to insufficient storage may threaten the environment. Toxic wastes can spread to the environment due to human or software errors that occurs in the machines. Therefore, system reliability is essential to predict many problems that may arise and to design the correct working process in recycling facilities. In this study, an alternative method is proposed for the system reliability of recycling facilities. In order to measure reliability, the criteria and compliance of the system with these criteria are determined by the experts. Depending on their information, the reliability index is calculated. By calculating the performance importance index, the most risky groups that are in critical condition and affect reliability are identified. Spherical fuzzy numbers are used in the proposed method to evaluate criteria. The reliability level of the system is determined by using performance and reliability indices created with fuzzy expressions. Thus, main problems affecting system reliability are identified. In application, a study in the literature is used and the results are compared to show the validity of the analysis.

Alıntı / Cite

Çakır, E., Ulukan, Z., (2021). Küresel Bulanık Kümeler ile Güvenilirlik Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 230-239.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Çakır, 0000-0003-4134-7679
Z. Ulukan, 0000-0003-4805-2726

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.07.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.01.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	18.01.2021
Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: ecakir@gsu.edu.tr, +90-212-227-4480

1. Giriş (Introduction)

Geri dönüşüm tesisleri, sürdürülebilir çevreye katkılarından dolayı atık yönetiminde önemli bir role sahiptir. Artık kullanılmayacak materyallerin geri dönüştürülerek kullanılması ekonomik, çevresel ve sosyal anlamda yerküreye önemli katkı sağlamaktadır. Fakat atık yönetimindeki bazı süreçlerde meydana gelebilecek aksaklıklar çevreye sağlanan faydanın yanında zarara neden olabilir. Örneğin, bir geri dönüşüm tesisinde depolama sorunlarından dolayı ortaya çıkacak fazla atık, zehirli maddeler üretilmesine sebep olabilir. İnsan veya makine arızası nedeniyle zehirli atık temiz sulara salınabilir. Bu nedenle, geri dönüşüm tesislerinde sistemin güvenilirlik ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Sistemde olası arızalar tespit edilmeli, güvenilirliğe etkisi araştırılmalı, sistem performansı değerlendirilmeli ve iyileştirme çalışmaları başlatılmalıdır. Performans değerlendirilmesinde kesin olmayan durumlar veya belirsiz görüşleri ifade eden değerlerden yararlanmakta fayda vardır. Bu nedenle literatürde birçok çalışmada belirsizlik durumlarını ifade etmek için kullanılan bulanık sayılar performans değerlendirilmesinde kullanılabilir. Böylece güvenilirlik hesabında uzman görüşleri daha anlamlı ifadelerle analiz edilmiş olur.

Bu çalışmanın amacı, bir geri dönüşüm tesisinde süreçlerde meydana gelebilecek ve güvenilirliği etkileyebilecek arızaları tespit etmek, etkisini araştırmaktır. Sorunların çözümüne öncelik verilmesi için güvenilirliği artıracak durumların belirlenmesi gerekir. Öncelik belirlemede küresel bulanık sayılardan yararlanılarak yeni bir bulanık güvenilirlik analizi ile literatüre katkı sağlanmıştır.

Makalenin genel yapısı şu şekildedir: Bölüm 2, literatürde çalışmayla ilgili son yayınları vurgulamaktadır. Bölüm 3, bulanık güvenilirlik göstergesi ve küresel bulanık sayılarla performans önem göstergesini öneren metodolojiyi sunar. Bölüm 4'te literatürde yer alan bir çalışmanın verilerinden yararlanılarak (Çakır ve Ulukan, 2019), geri dönüşüm tesisi için önerilen yöntem uygulanmıştır. Uygulamada tesisin sistem güvenilirlik göstergeleri hesaplanması ve bunların güvenilirlik üzerindeki etkilerinin önerilen yöntem kullanılarak araştırılması esas alınmıştır. Bölüm 5'te, literatürde var olan çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırılmış, yorumlanmıştır. Son olarak, çalışmanın genel değerlendirmesi ve gelecek çalışmalar için öneriler Bölüm 6'da verilmektedir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Son elli yıl içinde güvenilirlik analizinde kullanılan yöntem ve teoriler hızla gelişmiştir ve birçok araştırma makalesine konu olmuştur (Chadna ve Ram, 2014). Dilbilimsel metodoloji, gerçek dünya sorunlarıyla ilgili karar verme, modelleme ve hazırlık için önemli bir yardımcıdır. Şimdiye kadar bulanık mantık ve güvenilirlik teorisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Cheng ve Mon, 1993; Kahraman, 2006; Kai-Yuan vd., 1991; Ross, 2009; Zadeh, 1975). Bu araştırmacılar, süreç mimarisinde bulanık başarı/ başarısızlık, kalite ve maliyet gibi diğer faktörleri tanıtmışlardır.

1965 yılında, Zadeh tarafından önerilen ve $[0, 1]$ aralığında değerler alabilen bulanık mantığın tanıtılmasından sonra, bulanık parametrelerle ilgili çalışmalar hız kazanmıştır (Zadeh, 1965). Fakat zamanla yetersiz kaldığı noktalar keşfedilerek araştırmacıların çoğu tarafından eleştirilmektedir. Üyelik işlevlerinin tam gerçek sayılarla eşleştirilmesi sorunu için üyelik alanlarının sınırları bulanık olarak kabul edilmesi önerilmiş ve böylece ikinci dereceden bulanık kümeler (tip-2) (Zadeh, 1975) tanıtılmıştır. Daha sonra literatürde farklı bulanık küme uzantıları önerilmiştir. Örneğin, sezgisel bulanık kümeler kümeler Atanassov tarafından tanıtıldı (Atanassov, 1986; Atanassov, 1989) ve üye olmama derecesini belirleme durumunun olabileceğini belirterek, DM'lerin kararsızlık derecesinin olması gerektiği vurgulandı. Yager, bulanık çoklu kümeler kavramını literatüre ekledi (Yager, 1986). Bu çoklu setlerde, bir üye aynı veya farklı üyelik derecelerine sahip aynı kümeye ait olabilir. 1999'da Smarandache, belirsiz ve tutarsız bilgiler içeren problemlerle başa çıkmak için "neutrosophic" setleri tanıttı (Smarandache, 1999). Garibaldi ve Özen üyelik fonksiyonlarının zamanla değişebileceğini ve dinamik bir ortam içerebileceğini düşünüyordu ve böylece "nonstationary" bulanık kümeler, uzmanların neden olduğu değişkenliği modellemek için bulanık bir sistemin üyelik işlevlerine belirsizlik eklemek için geliştirildi (Garibaldi ve Özen, 2007). Daha sonra "hesitant" bulanık kümeler kavramı literatüre ilk olarak Torra tarafından tanıtılmıştır (Torra, 2010). Sezgisel bulanık kümelerin bir uzantısı olarak, "Pythagorean" bulanık kümeler Yager tarafından tanıtıldı (Yager, 2013). Bu bulanık uzantılar ışığında, karar vericiler için daha geniş bir tercih alanı sağlamak için Kutlu Gündoğdu ve Kahraman tarafından yeni bir bulanık küme olan küresel bulanık sayılar kavramı geliştirilmiştir (Gündoğdu ve Kahraman, 2019). Bu bulanık küme tanımı ile, karar vericiler üyelik ve üyelik dışı derecelerden bağımsız olarak bir kritere göre alternatif hakkında tereddüt bilgilerini atayabilirler. Küresel bulanık sayılar, üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt derecesinin karesi toplamının bire eşit veya küçük olması koşulunu karşılar.

Bulanık mantıktan yararlanan güvenilirlik konusundaki çalışmalarına bakıldığında; 1994'te Utkin, hata ve tamir için bulanık zaman konseptini kullanarak; "bulanık zamana bağlı kullanılabilirlik ve kullanılamazlık" ve "bulanık

operasyonel kullanılabilirlik ve kullanılamazlık” kavramlarını tanıtmıştır (Utkin, 1994). Aynı yıl, yapay zekâ metodolojisi kullanılarak performans testi yönteminin bir özetini sunmuştur (Utkin, 1994). 2003’te Jiang ve Chen mühendislik problemlerinin çözümüne odaklanan bulanık bir tutarlılık modelini göstermektedir. Bu hesaplama modelinin teorik temeli, sayısal değişimle geleneksel olasılığın empirik formunu kullanarak bulanık olasılığın hesaplanmasının mümkün olmasıdır (Jihang and Chen, 2003). 2005’te Noore ve Cross, sistem performansı şablonu olarak bulanık işlem tabanlı güvenilirlik çerçevesi kullandılar. Bu sayede merkezi olmayan ve homojen olmayan bilgisayar ağlarının genel kapasite tabanlı güvenilirliğini ölçtüler (Noore ve Cross, 2005). Cihazın çıktı başarısızlık oranını açıklamak için bulanık güvenilirlik değerlendirme (FGDY) yöntemi kullanılmıştır. Bulanık güvenilirlik göstergesi (BGG) ise uzmanlar tarafından farklı parametreler için performans puanları ve ağırlıkları şeklinde belirlenen dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Sürecin tutarlılığı çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemleri kullanılarak ölçülmüştür (Noore ve Cross, 2005). 2014’te Tyagi, ara değerli ezgisel bulanık kümeleri kullanarak güç tezgâhının performans değerlendirmesini incelemiştir (Tyagi, 2014). 2015’te De-zi ve Na bulanık sayılara bağlı olarak aero-jenerik performansı tahmin etmek için bir yöntem geliştirmiştir (De-zi ve Na, 2015). Yine 2015’te Gao ve Xie, bulanık paralel mekanik sistemler için dinamik performans modellerini kurdular (Gao ve Xie, 2015). Tu ve diğerleri, Markov Zinciri temelli hata ağacı tekniğini kullanarak güvenlik açısından kritik sistem tutarlılığı değerlendirme modelinin kapsamlı bir çalışmasını yayınlamıştır (Tu vd., 2015).

Bu çalışma, kaynak araştırması ışığında, sistem güvenilirlik düzeyini hesaplamak için yeni bir bulanık güvenilirlik modeli geliştirmekte ve güvenilirliği etkileyen temel sorunu bulmada literatüre katkıda bulunmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

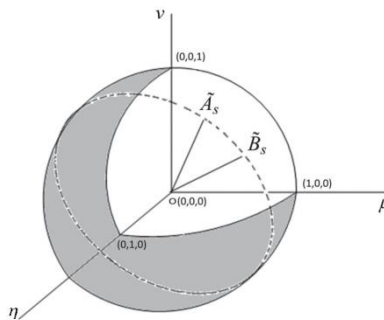
Bu bölümde, küresel bulanık sayılar ile önerilen yöntemin tanımları verilmiştir. Ardından uygulama adımları gösterilmiştir.

3.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Tanım 1: (Gündoğdu ve Kahraman, 2019) X sıradan sabitlenmiş bir küme olsun, X üzerinde tanımlanan küresel bulanık bir küme (KBK) olan \tilde{A} :

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x), \eta_A(x), v_A(x)) | x \in X\} \tag{1}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$, $\eta_{\tilde{A}}(x)$ ve $v_{\tilde{A}}(x)$ sırasıyla pozitif üyelik derecesini, nötr üyelik derecesini ve negatif üyelik derecesini temsil eder ve $\mu_{\tilde{A}}(x), \eta_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ ve $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x)^2 + \eta_{\tilde{A}}(x)^2 + v_{\tilde{A}}(x)^2 \leq 1$ koşullarını sağlar. \tilde{A} ’nın ret derecesi $\pi_{\tilde{A}}(x) = \sqrt{1 - \mu_{\tilde{A}}(x)^2 - \eta_{\tilde{A}}(x)^2 - v_{\tilde{A}}(x)^2}$ olarak ifade edilir. $(\mu_{\tilde{A}}(x), \eta_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{A}}(x))$ ifadesi basitçe $\alpha = (\mu, \eta, v)$ şekilde gösterilebilen küresel bulanık sayı (KBS) olarak adlandırılır. Şekil 1’de küresel bulanık küme görselleştirilmiştir.



Şekil 1. Küresel bulanık sayı geometrik gösterimi (Geometric representation of spherical fuzzy number) (Gündoğdu ve Kahraman, 2019).

Tanım 2: (Gündoğdu ve Kahraman, 2019) $\alpha_1 = (\mu_1, \eta_1, v_1)$ ve $\alpha_2 = (\mu_2, \eta_2, v_2)$ herhangi iki KBS olsun ve λ pozitif gerçek sayı olsun, öyleyse:

$$\alpha_1 \oplus \alpha_2 = \{\sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 - \mu_1^2 \mu_2^2}, \eta_1 \eta_2, \sqrt{(1 - \mu_2^2)v_1^2 + (1 - \mu_1^2)v_2^2 - v_1^2 v_2^2}\} \tag{2}$$

$$\alpha_1 \otimes \alpha_2 = \{\mu_1 \mu_2, \sqrt{\eta_1^2 + \eta_2^2 - \eta_1^2 \eta_2^2}, \sqrt{(1 - \eta_2^2)v_1^2 + (1 - \eta_1^2)v_2^2 - v_1^2 v_2^2}\} \tag{3}$$

$$\lambda \alpha_1 = \{\sqrt{1 - (1 - \mu_1^2)^\lambda}, \eta_1^\lambda, \sqrt{(1 - \mu_1^2)^\lambda + (1 - \mu_1^2 - v_1^2)^\lambda}\} \tag{4}$$

$$\alpha_1^\lambda = \{\mu_1^\lambda, \sqrt{1 - (1 - \eta_1^2)^\lambda}, \sqrt{(1 - \eta_1^2)^\lambda + (1 - \eta_1^2 - v_1^2)^\lambda}\} \quad (5)$$

Küresel bulanık sayı olan $\alpha = (\mu, \eta, v)$ 'nin tamamlayıcısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\alpha^c = (v, \eta, \mu) \quad (6)$$

Tanım 3: (Gündoğdu ve Kahraman, 2019) $\alpha = (\mu, \eta, v)$ bir KBS olsun, buna göre α 'nın gösterge skoru aşağıdaki gibi tanımlanır: [23]

$$SI(\alpha) = \sqrt{|100 * [(\mu_\alpha - v_\alpha)^2 - (\eta_\alpha - v_\alpha)^2]}| \text{ for } \mu_\alpha \geq v_\alpha \quad (7)$$

$$\frac{1}{SI(\alpha)} = \frac{1}{\sqrt{|100 * [(\mu_\alpha - v_\alpha)^2 - (\eta_\alpha - v_\alpha)^2]}|} \text{ for } \mu_\alpha \leq v_\alpha \quad (8)$$

Herhangi iki KBS için $\alpha_1 = (\mu_1, \eta_1, v_1)$ ve $\alpha_2 = (\mu_2, \eta_2, v_2)$,

eğer $s(\alpha_1) > s(\alpha_2)$ ise, o zaman $\alpha_1 > \alpha_2$

eğer $s(\alpha_1) = s(\alpha_2)$ ise, o zaman $\alpha_1 = \alpha_2$ 'dir.

3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Önerilen yöntemin amacı, bir sistemin ne kadar güvenilir olduğunu ölçmek ve sistem güvenilirliğini etkileyen birincil durumları bulmak için bulanık ÇKKV yaklaşımını uygulamaktır. Bulanık güvenilirlik değerlendirme yaklaşımı (BGDY), bulanık sayılarla iki ana amacın gerçekleştirilmesini sağlar. Bu yaklaşımda, güvenilirliği etkileyen her ölçütün önem dereceleri ve performans derecelendirmeleri seçilen uzmanlar tarafından bulanık ifadelerle değerlendirilmiştir. Bulanık güvenilirlik göstergesi (BGG) küresel bulanık sayılarla ifade edilir. Böylece, sistemin güvenilirlik seviyesi uygun dilbilim ile karşılaştırılarak belirlenir. Daha sonra, güvenilirliği etkileyen birincil ölçütler, uzmanlar tarafından belirlenen bir sınıra göre her bir ölçütün bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) hesaplanarak bulunur. Kaynak araştırması ışığında önerilen yöntemin belirlenmiş bir konuda uygulama adımları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Adım 1 - Sistem güvenilirliği ölçütlerini belirleme

Uygulama alanı olarak belirlenmiş konuyla ilgili sistem güvenilirliğini etkileyen ölçütler uzmanlar tarafından belirlenir.

Adım 2 - Dilsel değişkenlerin küresel bulanık ölçeklerini belirleme

Konunun uzmanları tarafından uygun bir bulanık küme seçilir. Performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemede kullanılacak bulanık ölçekler kararlaştırılır.

Adım 3 - Küresel bulanık sayıları kullanarak performans derecelendirmelerini ve önem derecelerini değerlendirme

Adım 2'de belirlenmiş bulanık ölçekler kullanılarak, uzmanlar tarafından performans derecelendirmelerine (PD) ve önem derecelerine (ÖD) karar verilir. Buckley'nin bulanık geometrik ortalama yöntemi (Buckley, 1985) kullanılarak değerlendirmeler toplanır. Elde edilen dilsel değerler "yaklaşık muhakeme yöntemi" (approximate reasoning approach) ile belirlenen ölçütlerdeki bulanık bir sayıya yaklaştırılır.

Adım 4 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) hesaplama

BGG, bulanık PD ve bulanık ÖD güvenilirlik ölçütlerinden oluşur. Bu gösterge, genel sistem güvenilirliğini ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$BGG = \frac{SI(\sum_{i=1}^n PD_i \otimes \hat{O}D_i)}{SI(\sum_{i=1}^n PD_i)} * 10 \quad (9)$$

Adım 5 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) uygun bulanık güvenilirlik dizinine eşleme

Güvenilirlik düzeyini belirlemek için, elde edilen BGG değeri ya eşit olduğu bir dilsel ifadeyle eşleşir ya da en yakın dilsel ifadeye Jaccard göstergesi (Ramli ve Mohammad, 2009) yardımıyla yakınsar.

Adım 6 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) hesaplama

Güvenilirliği artırmak için iyileştirilmesi gereken temel sorunu belirlemek için bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) kullanılır. Bu gösterge, sistem performans derecelendirmeleri ve ölçütlerin önem dereceleri kullanılarak hesaplanır. Dizin değeri ile sistem performansı arasındaki ilişki doğru orantılıdır. Diğer bir deyişle, yüksek gösterge değeri ölçütün sistem performansı üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, bulanık performans önem göstergesi sistem güvenilirliğini etkileyen temel konuyu belirlemek için kullanılabilir. Her ölçüt için BPÖG (Chadna ve Ram,2014) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$BPÖG_i = SI(ÖD_i^C \otimes PD_i) \quad (10)$$

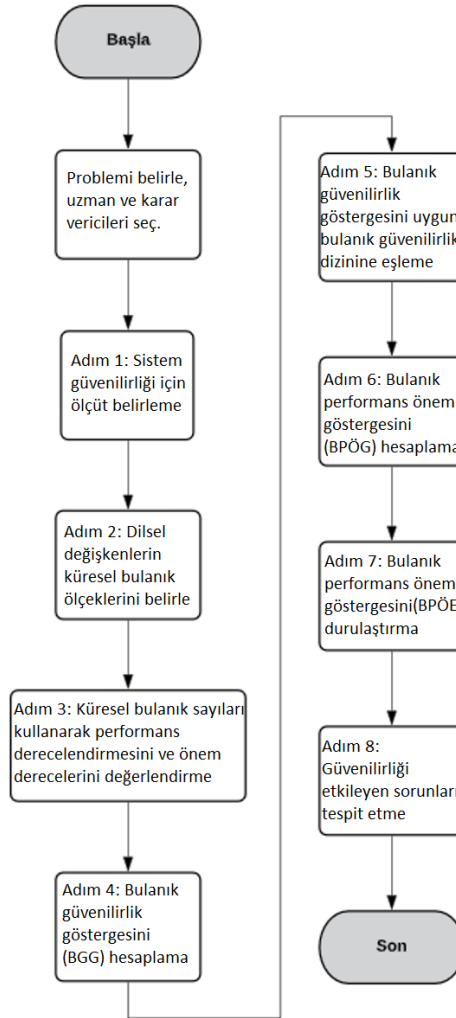
Adım 7 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) durulaştırma

Bulanık BPÖG'leri sıralamak için sayıların gösterge skorları Denklem (7)'ye göre hesaplanır.

Adım 8 - Güvenilirliği etkileyen sorunları tespit etme

Adım 7'de hesaplanan gösterge skorları sistemdeki bir arızanın güvenilirliğe etkisini gösterir. Sistem uzmanları tarafından bu ölçütlere bir limit koyulabilir ve eğer bir ölçüt bu limitin altına düşerse, o ölçüte daha fazla öncelik verilebilir. Böylece sistem güvenilirliğini artırmak için belirlenen ölçütlere ilişkin bir iyileştirme çalışması yapılmalıdır.

Önerilen yöntemin uygulama adımları Şekil 2'de bir akış şeması olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Önerilen yöntemin akış şeması (Flowchart of the proposed methodology)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu bölümde, geri dönüşüm tesisine küresel bulanık güvenilirlik değerlendirme yaklaşımı (KBGDY) uygulanmaktadır. Bir geri dönüşüm tesisinin çalışmasını aksatabilecek 6 adet olası hata belirlenmiştir. Bu olası hatalara dayanarak, sistemin güvenilirliği tartışılmaktadır.

Adım 1 - Sistem güvenilirliği ölçütlerini belirleme

Sistem güvenilirliği ve iyileştirmesi uzman görüşü gerektiren bir konudur. Sistemi oluşturan faktörler ve aralarındaki ilişkinin analizi iyi yapılmalıdır. Sistemdeki hatalar süreci yavaşlatabilir ve hattı durdurabilir. Bu nedenle, uzmanlardan alınan bilgilere göre, geri dönüşüm tesisi için sistem güvenilirliğinin ölçülmesinde kullanılacak ölçütler aşağıdaki gibidir:

C1 - İnsan hataları: Çalışanların operasyonda yaptıkları hatalardır. Örneğin; “makine kullanım hatası, yönetim hataları, yanlış karar verme, tesis işletimindeki süreç problemlerini çözememe, kişisel çıkarlar, personelin bilgi eksikliğinden kaynaklanan sorunlar, vb.”

C2 - Makine yazılımı hatası: Makinelerde kullanılan yazılımların neden olduğu hatalardır. Örneğin, “kullanılan bilgisayarlarla ilgili teknik sorunların olması, atık ayıklama için kullanılan makinenin yanlış programlanması veya arızalanması, tesis içindeki konveyörlerin yanlış yazılım nedeniyle çalışmanın kesintiye uğraması vb.”

C3 - Atık taşıma sorunları: Bu hatalar, atıkların tesise getirilmesi ve depolama alanlarında taşınması sürecinde meydana gelir. Örneğin, “iç veya dış etkenlerin yol açtığı kazalar, nakliye araçlarının bozulması, yetersiz araç kapasitesi, atık tipine uygun araç tipi eksikliği vb.” nedeniyle atık transferinin bozulması.

C4 - Düzensiz makine bakımı: Fabrika içerisinde veya dış ortamda kullanılan cihazların düzensiz bakımından kaynaklanan hatalardır. Örneğin, “değiştirilmesi gereken makinelerin yenilenmemesi, aşırı veya yanlış atık nedeniyle aşınmış makinelerin tamir edilememesi, hatalı çalışma nedeniyle makinenin arızalanması vb.”

C5 - Atık depolama alanı yetersizliği: Yetersiz depolama alanı nedeniyle oluşan hatalardır. Örneğin, “araçlardan boşaltılacak atıklar için yer kapasitesinin az olması, ara işlemde yetersiz depolama alanı, geri dönüşüm malzemesini saklama kapasitesinin eksikliği vb.”

C6 - Zehirli atık fazlalığı: Fazla atık malzemenin birikmesinden kaynaklanan hatalardır. Örneğin, “dönemsel olarak artan veya azalan atık miktarını depolayamamak, işleme kapasitesini zorlamak, zehirli atık oluşumuna neden olmak, atık yönetimi sürecini iyi tasarlamamak vb.” durumlar tesis çevresinde yaşayan insanların yaşam kalitesini düşürmektedir.

Adım 2 - Dilsel değişkenlerin küresel bulanık ölçeklerini belirleme

Bulanık sayıların kullanılması, karar verme sürecindeki belirsizliği ifade etmek için önemlidir. Belirsizlik ile baş edebilme kabiliyeti nedeniyle, küresel bulanık kümeler güvenilirliği ölçmek için idealdir (Ashraf vd.,2019; Gündoğdu ve Kahraman, 2019; Gündoğdu ve Kahraman, 2020). Bu çalışmada, performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemek için küresel bulanık sayılar kullanılmıştır. Belirlenen küresel bulanık ölçekler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemede kullanılan küresel bulanık ölçekler (Spherical fuzzy scales used in determining the importance of performance and reliability measures)

Dilsel İfade	Küresel bulanık ölçekler (μ, η, ν)
Kesinlikle daha önemli (KDÖ)	(0.9, 0.1, 0.0)
Çok yüksek önemli (ÇYÖ)	(0.8, 0.2, 0.1)
Yüksek önemli (YÖ)	(0.7, 0.3, 0.2)
Biraz daha önemli (BDÖ)	(0.6, 0.4, 0.3)
Eşit önemli (EÖ)	(0.5, 0.4, 0.4)
Biraz az önemli (BAÖ)	(0.4, 0.6, 0.3)
Az önemli (AÖ)	(0.3, 0.7, 0.2)
Çok az önemli (ÇAÖ)	(0.2, 0.8, 0.1)
Kesinlikle az önemli (KAÖ)	(0.1, 0.9, 0.0)

Adım 3 - Küresel bulanık sayıları kullanarak performans derecelendirmelerini ve önem derecelerini değerlendirme

Belirlenen dilsel ifadeleri kullanarak beş karar verici, güvenilirlik ölçütlerinin performans derecelendirmelerine (PD) ve önem derecelerine (ÖD) karar vermiştir.

Değerlendirmeleri toplamak için Buckley'nin bulanık geometrik ortalama yöntemi (Buckley, 1985) kullanılmıştır. Dilsel değerler “yaklaşık muhakeme yaklaşımı” (approximate reasoning approach) ile bulanık bir sayı ile yaklaştırılmıştır (Gueesgen ve Albrecht, 2000). Tablo 2'de performans derecelendirmelerinin ve önem derecelerinin toplu sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 2: Küresel bulanık sayılarla ifade edilmiş toplu performans derecelendirmeleri ve önem dereceleri. (Aggregated performance ratings and importance degrees expressed in spherical fuzzy numbers)

Ölçütler	PD	Küresel bulanık PD	ÖD	Küresel bulanık ÖD
C1	BDÖ	(0.6, 0.4, 0.3)	BDÖ	(0.6, 0.4, 0.3)
C2	BAÖ	(0.4, 0.6, 0.3)	ÇYÖ	(0.8, 0.2, 0.1)
C3	ÇAÖ	(0.2, 0.8, 0.1)	KDÖ	(0.9, 0.1, 0.0)
C4	ÇAÖ	(0.2, 0.8, 0.1)	BAÖ	(0.4, 0.6, 0.3)
C5	EÖ	(0.5, 0.4, 0.4)	YÖ	(0.7, 0.3, 0.2)
C6	AÖ	(0.3, 0.7, 0.2)	EÖ	(0.5, 0.4, 0.4)

Adım 4 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) hesaplama

Denklem (9) bulanık güvenilirlik göstergesini hesaplamak için kullanılmıştır.

$$BGG = \frac{SI((BD\ddot{O} \otimes BD\ddot{O}) \oplus (BA\ddot{O} \otimes \ddot{C}Y\ddot{O}) \oplus (\ddot{C}A\ddot{O} \otimes KD\ddot{O}) \oplus (\ddot{C}A\ddot{O} \otimes BA\ddot{O}) \oplus (E\ddot{O} \otimes Y\ddot{O}) \oplus (A\ddot{O} \otimes E\ddot{O}))}{SI(BD\ddot{O} \oplus BA\ddot{O} \oplus \ddot{C}A\ddot{O} \oplus \ddot{C}A\ddot{O} \oplus E\ddot{O} \oplus A\ddot{O})} * 10$$

$$BGG = \frac{8.61}{11.18} * 10 = 7.698$$

Adım 5 - Bulanık güvenilirlik göstergesini (BGG) uygun bulanık güvenilirlik dizinine eşleme

Tablo 3'te, BGG'nin dilsel ifadeleri ve karşılık gelen üyelik dereceleri gösterilmektedir. Jaccard göstergesi (Ramli ve Mohamad, 2009) kullanılarak BGG değeri ve üyelik fonksiyonlarının benzerliği ölçülmüştür. Böylece, BGG değeri "çok güçlü" (BGG≈ÇG) üyelik derecesine yakınsamıştır. Bu sonuç sistem güvenilirlik riskinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 3: Bulanık güvenilirlik göstergesinin dilsel ifadeleri ve karşılık gelen üyelik derecesi (Linguistic expressions of the fuzzy reliability indices and the corresponding degree of membership)

Dilsel ifade	Küresel bulanık ölçekler (μ, η, ν)	Gösterge Skoru (SI)
Kesinlikle güçlü (KG)	(0.9, 0.1, 0.0)	8.944
Çok güçlü (ÇG)	(0.8, 0.2, 0.1)	6.928
Oldukça güçlü (OG)	(0.7, 0.3, 0.2)	4.899
Biraz güçlü (BG)	(0.6, 0.4, 0.3)	2.828
Tamamen eşit (TE)	(0.5, 0.4, 0.4)	1.00
Biraz zayıf (BZ)	(0.4, 0.6, 0.3)	0.354
Oldukça zayıf (OZ)	(0.3, 0.7, 0.2)	0.204
Çok zayıf (ÇZ)	(0.2, 0.8, 0.1)	0.144
Kesinlikle zayıf (KZ)	(0.1, 0.9, 0.0)	0.112

Adım 6 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) hesaplama

Güvenilirlik ölçümünde, sonuç üzerinde en fazla etkiye sahip olan olumsuz ögeyi bulmak da önemlidir. Eğer bu soruna bir çözüm bulunursa, sistem iyileştirme oranı artacaktır. Bu çalışmada, güvenilirlik riski ölçüm sonucunun "çok güçlü (ÇG)" olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuç sistem güvenilirliğinin tehlikede olduğunu gösterir. Bu nedenle, sistem güvenilirliğini tehlikeli sınıftan çıkarmak için, sonucu etkileyen temel sorunu belirlemek ve sistem uzmanları tarafından çözüm bulmak gerekir. Bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) sistem güvenilirliğini etkileyen temel konuyu belirlemek için kullanılmalıdır.

Denklem (10)'a göre, geri dönüşüm tesisi sisteminin güvenilirliği için ölçütlerin BPÖG değerleri hesaplanmıştır ve sonuçlar Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Güvenilirlik ölçütleri için bulanık performans önem göstergesi (BPÖG) (Fuzzy performance importance index (FPII) for reliability criteria)

Ölçütler	BPÖG _i
C1	(0.18, 0.543, 0.587)
C2	(0.4, 0.621, 0.662)
C3	(0.0, 0.802, 0.542)
C4	(0.06, 0.877, 0.249)
C5	(0.1, 0.485, 0.692)
C6	(0.12, 0.756, 0.388)

Adım 7 - Bulanık performans önem göstergesini (BPÖG) durulaştırma

Bulanık BPÖG'leri sıralamak için sayıları kesin sayılara dönüştürmek gerekir. Denklem (7), küresel bulanık sayıların durulaştırılması için kullanılmıştır. Skor değeri hesaplanmış ve normalize edilmiş BPÖG'lerin sıralaması Tablo 4'te listelenmiştir.

Tablo 5: Skor değeri hesaplanmış ve normalize edilmiş BPÖG sıralama puanları (Score values and normalized FPII ranking scores)

Ölçütler	Sıralama puanları
C4	0.23612
C1	0.23596
C3	0.20142
C5	0.17242
C2	0.15408
C6	0.0

Adım 8 - Güvenilirliği etkileyen sorunları tespit etme

Tablo 5'teki göstergeler sistemdeki bir arızanın güvenilirliğe etkisini göstermektedir. Sistem uzmanları tarafından bu ölçütlere bir limit konulabilir ve eğer bir ölçüt bu limitin altına düşerse, o ölçüte daha fazla öncelik verilmelidir. Bu çalışmada geri dönüşüm tesisi için BPÖG limiti uzman görüşü ile 0.15 olarak belirlenmiştir. Tablo 5'teki sonuçlara bakıldığında, "Zehirli atık fazlalığı (C6)" diğerlerinden daha az performans göstermektedir. Böylece sistem uzmanları tespit edilen sorunlara uygun çözümler bularak güvenilirliğini artırmak için çalışmalıdır.

5. Tartışma (Discussion)

Bu çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan geri dönüşüm tesisinin bilgileri literatürde yer alan bir çalışmasından (Çakır ve Ulukan, 2019) alınmıştır. Yararlanılan çalışmada aralık tip-2 bulanık sayılarla güvenilirlik analizi için yöntem önerilmiş, bir geri dönüşüm tesisinin "insan hataları", "makine yazılımı hatası", "atık taşıma sorunları", "düzensiz makine bakımı", "atık depolama alanı yetersizliği" ve "zehirli atık fazlalığı" ölçütleri göz önünde bulundurularak sistem üzerinde performansı düşük olan durumlar tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise aynı ölçütler kullanılmış ve küresel bulanık yöntemin sonuçları literatürdeki çalışmayla uyumluluk göstermiştir. Tablo 6'da iki yöntemin sonuçları birlikte verilmiştir. İki çalışmada da kritik eşit 0.15 olarak belirlenmiş, bu değer altında performans oranına sahip ölçütler için sistem uzmanlarının çalışma yapması istenmiştir. Literatürde yer alan çalışmada bu seviyenin altında "Makine yazılımı hatası (C2)" ve "Zehirli atık fazlalığı (C6)" ölçütleri kalırken, bu çalışmanın deneysel sonuçlarına göre kritik eşğin altında kalan ölçüt olarak sadece "Zehirli atık fazlalığı (C6)" saptanmıştır. Bu sonuçlara göre, sistemin güvenilirliği, belirlenen ölçütlerin iyileştirilmesiyle artırılabilir.

Önerilen yöntemde, performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemini belirlemek için küresel bulanık sayılar kullanılmıştır. Bu yöntem ek olarak, literatürde yer alan MCDM-ÇKKV yöntemleri de küresel bulanık sayılarla kullanılarak performans ve güvenilirlik ölçütlerinin önemi belirlenebilir. Fuzzy AHP (Şahin ve Şenol, 2014), fuzzy TOPSIS (Gündoğdu ve Kahraman, 2019), fuzzy WASPAS (Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, 2019), fuzzy ANP (Şahin ve Soylu, 2020), fuzzy prioritized weighted aggregation operators (Tu vd., 2020), fuzzy Einstein interactive aggregation operators (Zeng vd.,2020) vb. geçerliliği kanıtlanmış entegre metodolojilerde küresel bulanık sayılar kullanılarak sonuçlar iyileştirilebilir.

Tablo 6: Aralık tip-2 ve küresel bulanık güvenilirlik modellerinin sonuçları (Results of type-2 and spherical fuzzy reliability models)

Aralık Tip-2 Bulanık Güvenilirlik Modellemesi			Küresel Bulanık Güvenilirlik Analizi	
Performans Sıralaması	Ölçütler	Sıralama puanları	Ölçütler	Sıralama puanları
1	C3	0.31	C4	0.236
2	C4	0.23	C1	0.235
3	C5	0.18	C3	0.201
4	C1	0.15	C5	0.172
5	C2	0.13	C2	0.154
6	C6	0,0	C6	0.0

6. Sonuç (Conclusion)

Sürdürülebilir bir çevre için geri dönüşüm vazgeçilmezdir. Ancak, geri dönüşüm sürecindeki bazı adımlar doğa için risk oluşturabilir. Salınan zehirli gazlar, yanlış prosedürler, işletme hataları, yetersiz depolama gibi konular sürdürülebilir çevreye yapılan katkının olumlu etkilerini silerek çevreye zarar verebilir. Bu nedenle, geri dönüşüm tesislerinde oluşabilecek birçok problemi öngörebilmek ve doğru çalışma sürecini tasarlayabilmek için sistem güvenilirliği önemlidir. Bu çalışma, geri dönüşüm tesisi güvenilirlik sisteminde küresel bulanık sayılarla oluşturulan yeni bir sistem güvenilirlik yöntemini göstermektedir. Makale, sistem güvenilirlik düzeyini hesaplamak için bulanık bir güvenilirlik yöntemi önermekte ve güvenilirliği etkileyen temel sorunu analiz ederek literatüre katkıda bulunmaktadır. Önerilen yöntemi doğrulamak amacıyla geri dönüşüm tesisi için sayısal bir örnek verilmiştir. Geri dönüşüm tesisi sistemi ölçütlerine göre “Zehirli atık fazlalığı (C6)” güvenilirliği etkileyen en önemli durum olarak belirlenmiştir. Sistem performansını etkileyen ve güvenilirliği düşüren bu ölçütlere ait sorunları gidermek için çalışmalar başlatılmalıdır.

Bu çalışmada ele alınmayan diğer durumlar şu şekilde özetlenebilir: çalışmada sadece altı ölçüt ile sistem güvenilirliği ölçülmüş olsa da gerçekte güvenilirliği etkileyen daha çok unsur bulunabilir. Ayrıca, güvenilirliği arttırmak için alınan önlemlerin maliyet açısından değerlendirmesinin yapılması da ele alınmamıştır. Gelecekteki çalışmalarda, sürdürülebilir çevre konusunda diğer tesisler incelenebilir ve farklı bulanık kümeler ile yeni ölçütlerin de yardımıyla güvenilirlik analizi yapılabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Galatasaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından # FBA-2020-1036 hibe numarasıyla desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest has been declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akram, M., Alsulami, S., Khan, A., Karaaslan, F., 2020. Multi-Criteria Group Decision-Making Using Spherical Fuzzy Prioritized Weighted Aggregation Operators, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 13(1), 1429-1446.
- Ashraf, S., Abdullah, S., Qiyas, M., Khan, A., 2019. The Application of GRA Method Base on Choquet Integral Using Spherical Fuzzy Information in Decision Making Problems, *Journal of New Theory* 28 , 84-97.
- Atanassov, K.T., 1986. Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* 20(1), 87–96.
- Atanassov, K.T., 1989. More on intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst.* 33(1), 37–45.
- Buckley, J.J., 1985. Ranking Alternatives using Fuzzy Numbers, *Fuzzy Sets and Systems* 15(1), 21-31.
- Chandna, R., Ram, M., 2014. Fuzzy reliability modeling in the system failure rates merit context, *International Journal of System Assurance Engineering and Management* , 5(3) ,245–251.
- Chen S.M., Lee, L.W., 2010. Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method, *Expert Systems with Applications*, 37, 2790-2798.
- Cheng, C.H., Mon, D.L., 1993. Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 56, No. 1, 29-35, (1993).
- De-zi, Z., Na, C., 2015. Aeroengine reliability prediction based on fuzzy and interval number, *Procedia Engineering*, Vol. 99, 1284-1288.
- Gao, P., Xie, L., 2015. Fuzzy dynamic reliability models of parallel mechanical systems considering strength degradation path dependence and failure dependence”, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2015, 1-9.

- Garibaldi, J.M., Ozen, T., 2007. Uncertain fuzzy reasoning: a case study in modeling expert decision making IEEE Trans. Fuzzy Syst. 15(1), 16–30.
- Guesgen, H.W., Albrecht, J., 2000. Imprecise reasoning in geographic information systems, Fuzzy Sets Syst 113:121–131.
- Gündoğdu, F.K., Kahraman, C., 2019. Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method, J. Intell. Fuzzy Syst. 36, 1–16.
- Gündoğdu, F.K., Kahraman, C., 2019. Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) and Its Application to Industrial Robot Selection, In: Kahraman C., Cebi S., Cevik Onar S., Oztaysi B., Tolga A., Sari I. (eds) Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making. INFUS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1029. Springer- Cham.
- Gündoğdu, F.K., Kahraman, C., 2019. Spherical Fuzzy Sets and Spherical Fuzzy TOPSIS Method, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 36, no. 1, pp. 337-352.
- Jiang, Q., Chen, C.H., 2003. A numerical algorithm of fuzzy reliability, Reliab Eng Syst Saf 80:299–307.
- Kahraman, C., 2006. Fuzzy applications in industrial engineering, Springer, Vol. 201.
- Kai-Yuan, C., Chuan-Yuan W., Ming-Lian, Z. 1991. Fuzzy reliability modeling of gracefully degradable computing systems, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 33, No. 1, 141-157.
- Kutlu Gundogdu, F., & Kahraman, C. (2019). Extension of WASPAS with Spherical Fuzzy Sets. Informatica, 30(2), 269-292.
- Mendel, J.M., John, R.I., Liu, F.L. 2006. Interval type-2 fuzzy logical systems made simple”, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 14, (6), 808-821.
- Noore, A., Cross, P.L, 2005. Modeling the reliability of large distributed non-homogeneous networks, Inform Proc Lett 93:57–61.
- Onar, S.C., Oztaysi, B., Kahraman, C., 2014. Strategic decision selection using hesitant fuzzy TOPSIS and interval type-2 fuzzy AHP: a case study, International Journal of Computational intelligence systems; 5, 1002-1021.
- Ramli, N, Mohamad, D., 2009. On the Jaccard Index Similarity Measure in Ranking Fuzzy Numbers, MATEMATIKA, Vol.25, Number 2, 157–165.
- Ross, T.J., 2009. Fuzzy logic with engineering applications, John Wiley & Sons.
- Smarandache, F., 1999. A Unifying Field in Logics: Neutrosophy, Neutrosophic Probability, Set and Logic. American Research Press, Rehoboth.
- Şahin, B., Soylu, A., 2020. Intuitionistic fuzzy analytical network process models for maritime supply chain, Applied Soft Computing, Vol. 96, 106614.
- Sahin, B., Senol, Y., 2015. A Novel Process Model for Marine Accident Analysis by using Generic Fuzzy-AHP Algorithm. Journal of Navigation, 68(1), 162-183.
- Torra, V., 2010. Hesitant fuzzy sets. Int. J. Intell. Syst. 25(6), 529–539.
- Tu, J., Cheng, R., Tao, Q., 2015. Reliability analysis method of safety-critical avionics system based on dynamic fault tree under fuzzy uncertainty, Eksploatacja i Niezawodność, Vol. 17, No. 1, 156-163.
- Tyagi, S.K., 2014. Reliability analysis of a powerloom plant using interval valued intuitionistic fuzzy sets, Applied Mathematics, Vol. 5, No. 13, 2008-2015.
- Utkin, L., 1994. Knowledge based fuzzy reliability assessment, Microelectronics Reliability, Vol. 34, No. 5, 863-874.
- Utkin, L.V., 1994. Fuzzy reliability of repairable systems in the possibility context, Microelectronics Reliability, Vol. 34, No. 12, 1865-1876.
- Yager, R.R., 1986. On the theory of bags. Int. J. Gen. Syst. 13(1), 23–37.
- Yager, R.R., 2013. Pythagorean fuzzy subsets. In: Proceedings of the Joint IFSA World Congress NAFIPS Annual Meeting, pp. 57–61.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Inf. Control Vol.8, No.3, 338–353.
- Zadeh, L.A., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I, Information Sciences, Vol. 8, No. 3, 199-249.
- Zeng, S., Munir, M., Mahmood, T., Naeem, M., 2020. Some T-Spherical Fuzzy Einstein Interactive Aggregation Operators and Their Application to Selection of Photovoltaic Cells, Mathematical Problems in Engineering, <https://doi.org/10.1155/2020/1904362>.