



IoT tabanlı sürdürülebilir akıllı atık yönetim sisteminin aralık değerli q-dereceli ortopair bulanık ortam altında ÇKKV modeli kullanılarak değerlendirilmesi

Şükran Şeker

Yıldız Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34349, Yıldız, İstanbul, Türkiye

ARTICLE INFO

Anahtar kelimeler:
Atık yönetimi IoT
Belirsizlik MCDM

ABSTRACT

Atık yönetimi, insan sağlığı ve refahı için çok önemli bir role sahiptir. Yeni atık toplama teknolojileri, bilgi ve iletişim teknolojileri (BIT'ler) ve Nesnelerin İnterneti (IoT), ekonomik, sosyal ve çevresel gibi sürdürülebilirlik unsurlarını göz önünde bulundurarak belediye atık yönetimi alanında önemli roller oynamaktadır. Gelecekteki kalkınma ve çevrenin sürdürülebilirliği göz önünde bulundurduğunda, atık toplama yönetmek için en uygun akıllı teknolojinin seçilmesinin uzun vadeli etkileri olabilir. Bu makale, İstanbul'daki yerel belediye için modifiye Entropi ölçütü ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemini uygulayarak IoT'ye dayalı akıllı atık toplama sistemlerini belirsiz parametrelere göre değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Karar verme süreciyle ilişkili belirsizlik ve muğlaklıkla başa çıkmak için süreçte Aralık değerli q-dereceli ortopair bulanık kümeler (IVq-ROFSs) kullanılmıştır. Sonuç olarak, RFID, GIS ve GPRS kullanılarak geliştirilen atık toplama sistemi, belediye için IoT tabanlı en uygun akıllı atık toplama sistemi olarak seçilmiştir. Sonuçları doğrulamak ve önerilen yöntemin karar vermedeki sağlamlığını kanıtlamak için çalışmanın sonunda Duyarlılık ve Karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

1. Giriş

Atık yönetimi, artan ürün tüketimine bağlı olarak hızlı nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte önemli bir rol oynamaktadır [1, 2]. Atık yönetimi, atıkların toplanması, işlenmesi, taşınması ve bertaraf edilmesinden oluşur ve hem halk sağlığı, hem estetik hem de çevrenin korunması açısından önemlidir. Ancak geleneksel atık toplama yöntemleri, nüfus artışı ve kentleşme göz önüne alındığında atık miktarındaki artış nedeniyle verimsiz ve maliyetli hale gelmiştir. Geleneksel atık yönetim sisteminde, atık toplama kamyonları ve sürücüleri önceden belirlenmiş bir rotayı takip ederek atıkları toplamaktadır [3,4]. Böylece kamyonlar, konteynerlerdeki çöpün doluluk seviyesini bilmeden çöpleri toplayarak yarı dolu konteynerlere doğru hareket ederken, dolu konteynerler bir sonraki toplama dönemini bekleyebilmektedir. Bu durum sistemde zaman kaybına, yakıt tüketiminin artmasına ve aşırı kaynak kullanımına neden olmaktadır. Konteynerlerdeki yangın veya yer değiştirmenin tespit edilememesi de geleneksel atık toplamanın diğer dezavantajlarıdır. Ayrıca, toplama araçlarının egzozlarından çıkan tehlikeli gazlar ve sera gazı CO₂ (karbondioksit) emisyonu nedeniyle hava kirliliği her geçen gün artmaktadır [5].

Mevcut sistemi daha iyi hale getirmek ve yukarıda belirtilen dezavantajları önlemek için teknolojik yenilikler ve ilerlemeler

atıkların düzenli olarak toplanması ve atıkların çevreye ve havaya olan etkisinin azaltılması için uygulanmaktadır [5]. Bu nedenle, teknolojiye gelişmelerle birlikte operasyonel verimliliği artırmak için tüm dünyada akıllı atık yönetimi ön plana çıkmış ve atık yönetimi için farklı yöntemler önerilmiştir [2,6]. Sürdürülebilir ve akıllı atık yönetim sistemleri politikaya uygun arıtma teknolojilerini desteklerken, optimum atık ve kaynak geri kazanım yöntemleri sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sistem, minimum işlenmemiş malzeme ve düşük enerji tüketimi ile çevreye en az zarar vererek toplum için maksimum fayda sağlamayı amaçlamaktadır [1,7].

Bu nedenle, etkin atık yönetimi, halkın istek ve ihtiyaçlarının ayrıntılı olarak belirlenmesini gerektirir [8]. Literatürde çeşitli çözümler önerilmiştir, bunların çoğu RFID teknolojisi ve bulut bilişim kullanımına dayanmaktadır [9]. Bilgi ve İletişim Teknolojisi (ICT) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) kullanımı, gelişmiş ülkelerde küresel atık yönetim sistemini etkili ve verimli bir şekilde geliştirmek için yeni bir para- digma önermektedir. ICT-IoT entegrasyonu, atık yönetimi için alanda yerel algılama, veri entegrasyonu, nesnelerin analitiği ve bilişsel eylemin kullanılmasını içerir [8,10]. Ayrıca eski ve verimsiz çöp toplama sistemleri yerine IoT, sensörler ve veri aktarım teknolojileri gibi akıllı atık toplama sistemleri

E-posta adresi: sseker@yildiz.edu.tr

<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102100>

Alındı 26 Aralık 2021; Gözden geçirilmiş haliyle alındı 13 Temmuz 2022; Kabul edildi 18 Ağustos 2022

Çevrimiçi olarak 25 Ağustos 2022'de kullanılabilir

0160-791X/© 2022 Elsevier Ltd. Tüm hakları saklıdır.

kullanıldı. IoT atık yönetim sisteminde etkilidir. Teknoloji, çöp konteynerinin seviyesini herhangi bir zamanda göstermeyi sağlar ve kamyonlar için atık toplama rotasını optimize ederek yakıt tüketimini azaltır. Ayrıca atık toplayıcıların günlük/haftalık toplama planlamalarını yapmalarına olanak tanır [9]. IoT tabanlı atık yönetiminin genel mimarisi Şekil 1'de gösterilmektedir.

Gerekli önlemleri kılavuz ilkelere uygun olarak uygulamak için, etkili atık yönetim sistemi, birbiriyle çelişen hedeflere veya beklenmedik sonuçlara sahip çeşitli atık yönetim senaryoları gerektirir [12]. Potansiyel önemli sonuçlar göz önüne alındığında, uygun akıllı atık toplama teknolojisinin seçimi zorlu bir görev olabilir ve birden fazla çelişkili kriteri dikkate alır. Teknoloji yatırımları uzun süre kullanılacağından, bu tür yatırımlar için değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının dikkate alınması önemlidir. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir ve akıllı bir atık yönetim sistemi seçmektir.

Ülke genelinde BİT'ler ve IoT dikkate alınarak günümüz teknolojisine dayalı daha iyi ve sürdürülebilir şehirler düşünüldüğünde.

Nüfusla birlikte artan kentleşme ve sanayileşme nedeniyle, atıklar Türkiye'de giderek daha büyük bir ulusal sorun haline gelmiştir. Atık yönetiminde Türkiye, çöp toplama, taşıma, işleme (gönderme, geri dönüşüm) ile ilgili bir dizi sorunla karşı karşıyadır. Atık miktarını kontrol etmek için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından AB direktiflerine uygun olarak yönetmelikler ve eylem planları oluşturulmuştur [13].

Bu çalışmada, İstanbul'daki belediyelerden biri için IoT tabanlı akıllı atık toplama sistemleri değerlendirilecektir. Seçilen IoT tabanlı akıllı atık toplama sisteminin çevresel açıdan verimli, ekonomik açıdan uygun fiyatlı, modern şehir tasarımıyla uyumlu ve sürdürülebilir bir atık yönetimi için halk tarafından kabul edilebilir olması gerektiğinden, problem çok boyutlu bir problem olarak ele alınmıştır. İlgili sorunları ele almak için, IoT'ye dayalı akıllı atık toplama sistemleri, belirsiz ve karmaşık ortamlarda çelişkili ve belirsiz olabilen insan kaynakları, operasyonel ve finansal konular gibi hem nitel hem de nicel yönleri içeren Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) araçları kullanılarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, BİT ve IoT sistemleri atık yönetimi için daha fazla ekonomik, sosyal ve çevresel fayda sağladığından [14,15], önerilen ÇKKV yöntemi, IoT teknolojisiye dayalı uygun akıllı atık toplama sisteminin seçimi için ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri en iyi şekilde etkilemiştir.

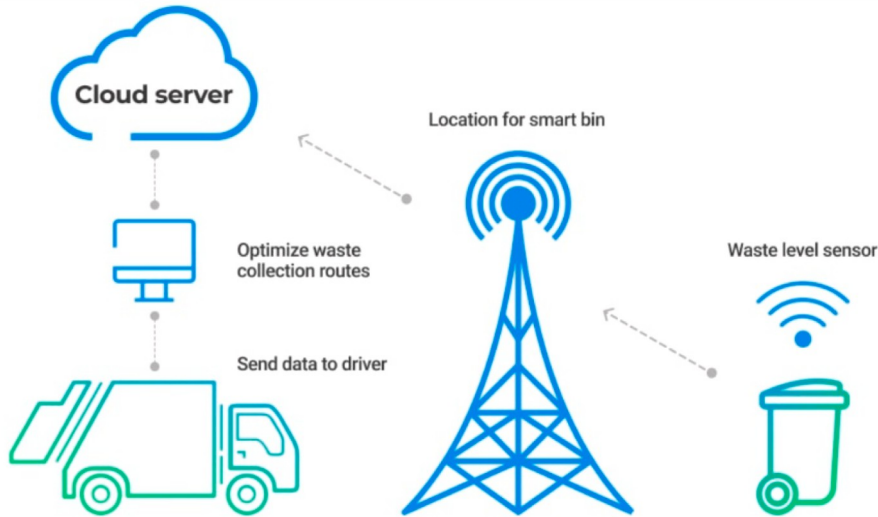
Etkili bir karar verme yöntemi olarak Ghorabae ve diğerleri [16] tarafından önerilen Kombinatif Uzaklık Tabanlı Değerlendirme (CODAS) yöntemi, belirsizlik altında karar verme problemini ele almak için genişletilmiş ve sunulmuştur. Girdi verilerindeki çoklu belirsizliklerle başa çıkmak için

Karar vericilerin (KV) belirsiz düşüncelerini daha açık bir şekilde ifade etmelerine yardımcı olmak amacıyla, Atanassov [18] tarafından önerilen sezgisel bulanık küme (IFS) ve Yager ve Abbasov [19] tarafından önerilen Pisagor bulanık küme (PFS) gibi diğer etkin bulanık uzantılara kıyasla IVq-ROFS daha güvenilir bilgi sağladığından, Aralık değerli q-dereceli ortopair bulanık kümeler (IVq-ROFS) [17] kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıkları da ÇKKV sürecinde önemli bir rol oynadığından, kriterlerin ağırlık vektörünü elde etmek için IVq-ROFS'lerin değiştirilmiş entropi ölçüsü geliştirilmiştir. Sonuç olarak, önerilen yaklaşım, kamu için kritik uzun vadeli stratejik karar verme problemlerini desteklemek için güvenilir, esnek ve kullanımı kolay bir araç sunmaktadır. Ayrıca, IVq-ROFSs temelinde modifiye Entropi ve CODAS, atık yönetiminde karar verme problemleri için sunulan ilk çalışmadır.

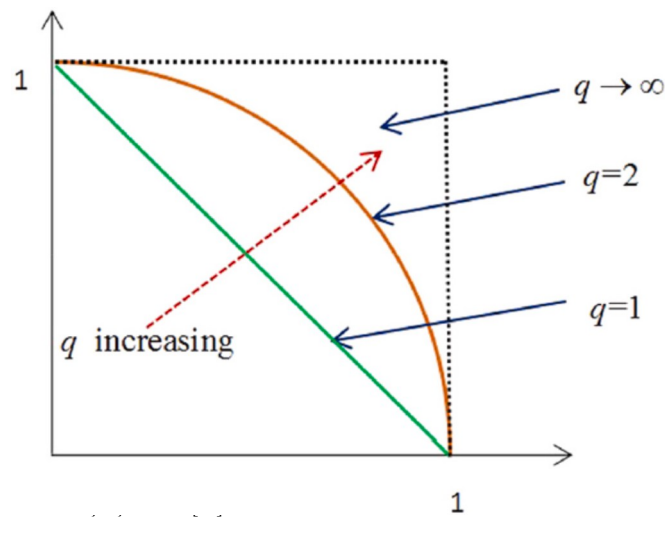
Bu çalışmanın temel motivasyonları ve katkıları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- > IVq-ROFSs altında modifiye entropi ve CODAS yöntemini entegre eden önerilen hibrit ÇKKV modeli kullanışlı, pratik ve Gerçek hayattaki ÇKKV problemlerinin çözümünde karar verme sürecini basitleştirmek için esnek bir araçtır.
- > Değiştirilmiş entropi ve CODAS yöntemi ilk olarak Karmaşık ve belirsiz ÇKKV'yi ele almak için IVq-ROFS bağlamında sorunları etkili bir şekilde ele alır.
- > IVq-ROFS'lar, gerçek dünyada karar verme sürecinin doğasında var olan daha geniş bir yelpazedeki belirsiz ve bulanık değerlendirme bilgileriyle ilgilenir ve DM'lerin değerlendirme özgürlüğü derecesini aynı anda genişletmek.
- > Kriterlerin ağırlık vektörü değiştirilmiş entropi ile hesaplanır Kriter ağırlıklarını objektif olarak belirlemek için ağırlıklandırma yöntemi.
- > Önerilen yaklaşımın etkinliğini ve pratikliğini ortaya koymak için, akıllı atık toplama sistemlerini değerlendiren bir vaka çalışması ekonomik, sosyal, çevresel ve teknik kriterler dahil edilerek kapsamlı perspektiflerden IoT'ye dayalı olarak yürütülmektedir.
- > Vaka çalışmasının sonuçları, uygulamaya konulan yaklaşım son derece güvenilir ve mevcut modellerle tutarlıdır literatürde.

Çalışmanın yapısı şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2, atık yönetimi için ÇKKV yaklaşımlarına ilişkin literatür taramasını içermektedir. Bölüm 3, bazı ön bilgilerle birlikte önerilen metodolojiyi açıklamaktadır. Oluşturulan çerçevenin etkinliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için Bölüm 4, IoT tabanlı sürdürülebilir akıllı atık yönetim sistemini değerlendirmek için İstanbul'daki belediyelerden birinde gerçekleştirilen bir vaka çalışmasından oluşmaktadır. Önerilen çerçevenin sonuçlarını tartışmak için, Duyarlılık ve



Şekil 1. IoT tabanlı atık yönetim sisteminin mimarisi [11].



$$\pi(x) = 1 + \frac{\sqrt{q}}{q} \quad (3)$$

Ancak, belirsiz ve kesin olmayan bilgilerle daha iyi başa çıkabilmek için üyelik ve üyelik dışı değerlerin tek değerden ziyade aralıklarla ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, kesin olmayan ve nitel bilgileri daha iyi yakalamak için Joshi ve diğerleri [17] üyelik fonksiyonu ve üyelik dışı fonksiyon değerlerini aralıklarla ifade etmek için IVq-ROFS kavramını geliştirmiştir.

Tanım 2. (Liu ve ark. [55]): X boş olmayan ve sonlu bir küme olsun, X üzerinde bir IVq-ROFS $\tilde{P}$ olarak tanımlanır:

$$P = \{[x, (\mu_{P(x)}, \tilde{x})] | x \in X\} \quad (4)$$

w burad işlev *iyon* μx $\mu^L x, \mu^U x : X \rightarrow 0, 1$ ve $v x$

$$\tilde{z}_P() = [\tilde{\kappa}_{(P)}(\tilde{\rho}())] \quad [\quad] \quad \tilde{\rho}() =$$

$[(\tilde{v}_p(x), {}_p\tilde{v}^U(x))] : X \rightarrow [0, 1]$ üyelikleri dikkate alan aralıklardır.

ve $x \in X$ elemanının üye olmama dereceleri sırasıyla P kümesine aittir. Bu durumda IVq-ROFS Denklem (5)'i sağlamalıdır.

$$\mathcal{H}_P^{(U, x)} + \mathcal{V}_P^{(U, x)} \leq 1, q \geq 1 \quad (5)$$

$$\pi_p(x) = \pi_p^{(L, x)}, \pi_p^{(U, x)} = \left[\sqrt{\frac{1}{\mu_p^{(L)}(x)}} \sqrt{\frac{1}{\mu_p^{(U)}(x)}} \right] \quad (6)$$

IVq-ROFSs yöntemi üzerinde formüle edilmiş ve açıklanmıştır.

3.1. Aralık-değerli q -dereceli ortopair bulanık kümeler

Yager [53] tarafından önerilen q-kademeli ortopair bulanık küme (q-ROFS) üyelik ve üyelik dışı dereceler kullanılarak ifade edilir. q-ROFS'ler üyelik ve üyelik dışı derecelerin q. kuvvetinin toplamının en fazla bire eşit olmasını sağlar. q-ROFS'ler IFS'lerin ve PFS'lerin genelleştirilmesidir. Sezgisel Bulanık Sayılar (IFNs), Pisagor bulanık sayıları (PFNs) ve q-dereceli ortopair bulanık sayıların (q-ROFNs) gösterimi gösterilmiştir ve bunlara karşılık gelen kısıtlama koşulları Şekil 2'de verilmiştir

Tanım 1. (Yager [53]): Bir q-ROFS $\tilde{Q}$ sonlu bir evrende

X söylemi Denklem (1) ile ifade edilir ve tanımlanır.

$$\tilde{\Theta} \{ ((x, \mu_{(x)}(x), v_{(x)}(x)) | x \in X) \} \quad (1)$$

burada μ fonksiyonu : $\underset{\mathcal{O}}{X} \rightarrow [0, 1]$ ve $\underset{\mathcal{O}}{\tilde{\nu}} : X \rightarrow [0, 1]$ fonksiyonlarının dereceleridir.

q-ROFS, sırasıyla üyelik ve üye olmama durumlarını sağlamalıdır.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \tilde{o}} \mathcal{W}_0^{(q)} + \{y^{(q)}\}_{\tilde{o}} \leq 1 \quad (q \geq 1) \quad (2)$$

Buna göre, üyelik derecesinin q . kuvveti ile üye olmama derecesinin q . kuvvetinin toplamı 1'e eşit veya 1'den küçüktür (Bkz. [Şekil 2](#)).

Belirsizlik derecesi şu şekilde gösterilir:

Belirsizlik derecesi şu şekilde tanımlanır:

Tanım 3. (Liu ve ark. [55]): Aralık değerli q basamaklı ortopair bulanık sayı için $(IVq\text{-ROFN}) p = [\mu^L, \mu^{(U)}], [\nu^L, \nu^{(U)}], s(p)$ skor fonksiyonu ve p 'nin $H(p)$ ak-

törlük fonksiyonu Denklem (7) ve (8) kullanılarak hesaplanır: $s \sim p^{(L)} = 1[1 + \mu^{(L)} \theta]$

$$\mu^{(L, \ell)(q)} - \nu^{(L, \ell)(q)} + 1 + \mu^{(L, \ell)(q)} - \nu^{(L, \ell)(q)}, s(\mathbf{p}) \in [0, 1] \quad (7)$$

$$(F)_{(p)} = \frac{((p^{I,q} + (V^{I,q} + W^{(U(q)-V)^{(q)}))^{(q)}))}{2} H(p), \quad (p \in [0, 1]) \quad (8)$$

Eğer.

$$\tilde{P}_1 ([\mu_1^{(L)}, \mu_1^{(U)}], [v_1^{(L)}, v_1^{(U)}]) \text{ ve } p_2 = [\mu^{(L)}, \mu^{(U)}], [v^{(L)}, v^{(U)}]) \text{ için IVq-ROFN'dir,}$$

p 'nin puan fonksiyonu ve doğruluk fonksiyonu p içinde gösterilir aşağıdaki: $s(p) = \frac{1}{1 + (\mu^{(L)})^2 + (\nu^{(L)})^2}$ ve $1 + (\mu^{(L)})^2 + (\nu^{(L)})^2$

[illegible]

Eğer $s(p_1) > s(p_2)$ ise $\tilde{p}_{(1)} p_{(2)}$ den büyüktür $(\tilde{p}_{(1)} > p_{(2)})$

Eğer $s(p_1) = s(p_2)$ ve $H(p_1)$ ise $= H(p_2)$ o zaman $p_1 p_2$ 'ye eşittir ($p_1 = p_2$).

Eğer $s(p_1) = s(p_2)$ ve $H(p_1) > H(p_2)$ o zaman $p_{(1)} > p_{(2)}$ den büyüktür. $\epsilon_{(p_1)} > \epsilon_{(p_2)}$.

Tanım 4. (Wang ve Zhou [56]): IVq-ROFS'ları dikkate alan bazı matematiksel işlemler şu şekilde ifade edilir:

$$-p_1 = [\mu^{(L)}, \mu^{(U)}], [v^{(L)}, v^{(U)}] \text{ ve } p_2 = [\mu^{(L)}, \mu^{(U)}], [v^{(L)}, v^{(U)}] \text{ ve } p = [\mu^{(L)}, \mu^{(U)}], [v^{(L)}, v^{(U)}]$$

$$\tilde{p} \otimes \tilde{p} = \frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} + \mu^{(U)} + v^{(L)} + v^{(U)} \right) - \frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} - \mu^{(U)} + v^{(L)} - v^{(U)} \right) \quad (9)$$

$$\tilde{p} \otimes \tilde{p} = \frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} + \mu^{(U)} + v^{(L)} + v^{(U)} \right) - \frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} - \mu^{(U)} + v^{(L)} - v^{(U)} \right) \quad (9)$$

$$\lambda p = \left(\frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} + \mu^{(U)} + v^{(L)} + v^{(U)} \right) - \frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} - \mu^{(U)} + v^{(L)} - v^{(U)} \right) \right) \quad (11)$$

$$\left(\frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} + \mu^{(U)} + v^{(L)} + v^{(U)} \right) - \frac{1}{2} \left(\mu^{(L)} - \mu^{(U)} + v^{(L)} - v^{(U)} \right) \right) \quad (12)$$

Tanım 5. (Ju vd. [57]): Aralık değerli q-seviyeli ortopair bulanık ağırlıklı geometrik (IVq-ROFWG) operatör:

$b_i = [\mu^{(L)}, \mu^{(U)}], [v^{(L)}, v^{(U)}]$ ($i = 1, 2, \dots, n$) aralık değerli q-dereceli ortopair bulanık sayıların (IVq-ROFNs) bir koleksiyonu olduğunu varsayalım, o zaman Aralık değerli q basamaklı ortopair bulanık ağırlıklı geometrik (IVq-ROFWG) operatörü aşağıda gösterilmiştir:

$$\text{IVq-ROFWG} \left(b_1, b_2, \dots, b_n \right) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i^{(L)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i^{(U)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^{(L)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^{(U)} \right) \quad (13)$$

nerede $w = \frac{1}{n}$ ve $w = \frac{1}{n}$ böylece $w \in [0, 1]$ ve $\sum_{i=1}^n w = 1$.

Tanım 6. (Liu ve ark. [55]): p olsun $\tilde{p} = ([\mu^{(L)}, \mu^{(U)}], [v^{(L)}, v^{(U)}])$ ve $p = ([\mu^{(L)}, \mu^{(U)}], [v^{(L)}, v^{(U)}])$ iki IVq-ROFN olsun, o zaman Minkowski uzaklığı $d(p_1, p_2)$ olarak tanımlanır:

$$d(\tilde{p}, p) = \left(\frac{1}{4} \left(\mu_1^{(L)} - \mu_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\mu_1^{(U)} - \mu_2^{(U)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(L)} - v_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(U)} - v_2^{(U)} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

$p = 1$, $d(\tilde{p}, p) = \left(\frac{1}{4} \left(\mu_1^{(L)} - \mu_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\mu_1^{(U)} - \mu_2^{(U)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(L)} - v_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(U)} - v_2^{(U)} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ hamming uzaklığıdır.

$p = 2$ olduğunda, $d(\tilde{p}, p) = \left(\frac{1}{4} \left(\mu_1^{(L)} - \mu_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\mu_1^{(U)} - \mu_2^{(U)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(L)} - v_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(U)} - v_2^{(U)} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ Öklid uzaklığıdır. $p \rightarrow \infty$ $d(\tilde{p}, p) = \left(\frac{1}{4} \left(\mu_1^{(L)} - \mu_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\mu_1^{(U)} - \mu_2^{(U)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(L)} - v_2^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(v_1^{(U)} - v_2^{(U)} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ Chebyshev mesafe.

3.2. q basamaklı ortopair bulanık kümelerin entropisi

Tanım 7. (Wang ve Lee [58]): Entropi yöntemi bilgi miktarını tahmin etmek için uygulanır. Bilginin göreceli ağırlığını hesaplamak için kullanılabilir. 1947 yılında Shannon ve Weaver [59] entropi yöntemini

gerçekleştirerek bir bileşenin belirsizliğini hesaplamak için entropi yöntemi

bilgi olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$H(p) = - \sum_{k=1}^n p_k \ln p_k \quad (15)$$

Burada H entropi seviyesini, k ise sabit seviyeyi temsil eder.

Daha büyük entropi değeri, daha küçük bilgi ağırlığını ifade eder MCDM sürecinde. De Luca ve Termini [60] olasılıksal olmayan bulanık kümenin entropisi.

A bulanık kümesinin bulanıklık derecesi $\tilde{f}(x)$ ve üyelik derecesi

$\mu_A(x)$ Shannon'un olasılık fonksiyonunu $p(x_k)$ ile değiştirmek için

$$H(\tilde{A}(x)) = - \sum_{k=1}^n \mu_{\tilde{A}(x)}(x_k) \ln \mu_{\tilde{A}(x)}(x_k) \quad (16)$$

Burada k, $1/\ln q$ 'ya eşit olan normalleştirilmiş değerdir.

Tanım 8. (Liang ve ark. [61]): q-ROFN'ler için hem entropi hem de çapraz entropi yöntemlerini tanıtmış ve daha sonra bunları bulanık prosedürleri oluşturmak için uygulamıştır.

$p = (\mu, v)$ bir q-ROFN olsun, α 'nın $E(p)$ olarak gösterilen entropisi şöyle olabilir aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$E(p) = \frac{1}{2-1} \left(\sin \frac{\pi}{4} \left(\mu^{(L)} - \mu^{(U)} \right) + \sin \frac{\pi}{4} \left(v^{(L)} - v^{(U)} \right) \right) \quad (17)$$

Liang ve diğerlerinin [62] sonuçları göz önünde bulundurularak aşağıdaki önermeler ifade edilebilir:

Tanım 9. q-ROFN $p = (\mu, v)$ için bir entropi, gerçek değerli bir $E(p)$

fonksiyonudur: $p \rightarrow [0, 1]$, aşağıdaki aksiyomatik gerekliliklere ihtiyaç duyar:

- 1) $E(p) = 0$, ancak ve ancak $p = P(0, 1)$ veya $p = P(1, 0)$ ise;
- 2) $E(p) = 1$ ancak ve ancak $\mu = v$ ise;
- 3) İki q-ROFN $p_1 = (\mu_1, v_1)$ ve $p_2 = (\mu_2, v_2)$ verildiğinde, $E(p_1) \leq E(p_2)$, $\mu_1 \leq \mu_2 \leq v_2 \leq v_1$ veya $\mu_1 \geq \mu_2 \geq v_2 \geq v_1$ olduğunda;
- 4) $E(p) = E(p)^{-}$

Tanım 10. (Liu ve ark. [62]): Bir grup q-ROFN için entropi değeri şunlardır olarak belirlendi:

$$q\text{-ROFE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\mu^{(q)}(x_i) + v^{(q)}(x_i) \right) \left(\mu^{(q)}(x_i) - v^{(q)}(x_i) \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

Tablo 1

Alternatifleri değerlendirmek için dilsel ifadeler ve yazışmalar IVq-ROFN'ler kriterlerine göre [63].

Dilsel İfade	μ^L	μ^U	v^L	v^U
Son Derece Yüksek (EH)	0.90	0.90	0.10	0.10
Çok Yüksek (VH)	0.75	0.85	0.05	0.15
Yüksek (H)	0.60	0.75	0.10	0.20
Orta Yüksek (MH)	0.45	0.60	0.15	0.25
Orta (M)	0.50	0.50	0.50	0.50
Orta Düşük (ML)	0.35	0.45	0.40	0.55
Düşük (L)	0.25	0.35	0.50	0.60
Çok Düşük (VL)	0.15	0.20	0.60	0.75
Son Derece Düşük (EL)	0.10	0.10	0.90	0.90

3.3. Önerilen yaklaşım: IVq-ROFS'lara dayalı modifiye entropi ve CODAS yöntemi

Bu bölümde yeni bir yaklaşım olarak, IVq-ROF ortamı altında modifiye Entropi ve CODAS yöntemi tanıtılmaktadır. Önerilen yaklaşım, İstanbul'daki bir belediye için IoT tabanlı akıllı atık toplama sistemini seçmek için uygulanmıştır. Önerilen yaklaşım aşağıdaki gibi adım adım sunulmuştur:

Adım 1. Bir grup DM oluşturun ve kriterleri ve alternatifleri belirleyin ÇKKV probleminin ana hedefe ulaşması için gerekenler. Görüşlerini ifade etmek için $(DM_1, DM_2, \dots, DM_n)$ ile gösterilen DM'ler grubu oluşturulur. Onların yargıları kriterlere göre alternatif seçenekler için karar olarak oluşturulur.

siyon matrisi IVq-ROF dilsel ifadeleri ve bunlara karşılık gelen IVq-

Tablo 1'e göre ROFN'ler. Böylece, karar matrisi $X = [x_{ij}]_{m \times n}$ alternatifler $(A_1, A_2, \dots, A_m)$ ve n adet değerlendirme kriteri $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ DM'ler tarafından IVq-ROFN'ler kullanılarak ifade edilen dilsel bir terim aracıyla.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} x^k_{11} & x^k_{12} & \dots & x^k_{1m} \\ x^k_{21} & x^k_{22} & \dots & x^k_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x^k_{n1} & x^k_{n2} & \dots & x^k_{nm} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Burada $\tilde{x}^k_{ij}$ i. alternatifin performans değerini gösterir.

Her k^{inci} DM için j^{inci} kriter ve

$$\tilde{x}^k_{ij} = \langle \mu_{ij}^{(L)}, \mu_{ij}^{(U)} \rangle, \quad \mu_{ij}^{(L)}, \mu_{ij}^{(U)} \in [0, 1].$$

Daha sonra, kriterlerin ağırlıkları bir karar verme probleminde önemli bir rol oynadığından, IVq-ROFN'lerin değiştirilmiş entropi ölçüsü kriterlerin göreceli ağırlığını hesaplamak için geliştirilmiştir.

Kriterlerin ağırlıkları modifiye edilmiş IVq-ROF Entropi yöntemine göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

Adım 2. Bir IVq-ROFN'lerin beklenen üyelik EV (μ_j) ve üyelik dışı EV (ν_j) değerlerini hesaplayın. $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ DM'lerin iyimserlik dereceleri, beklenen üyelik EV (μ_j) ve opti- mizm derecesi (λ) kullanılarak bir IVq-ROFN'lerin üyelik dışı EV (ν_j) değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$EV(\mu_j) = (1 - \lambda) \mu_j^L + \lambda \mu_j^U \quad (19)$$

$$EV(\nu_j) = (1 - \lambda) \nu_j^L + \lambda \nu_j^U \quad (20)$$

Adım 3. Toplam IVq-ROF karar matrisleri. Bir kez bireysel

karar matrisleri Denklem (13) kullanılarak toplanır, modifiye IVq-ROF

Kriter ağırlıklarını belirlemek için entropi yöntemi geliştirilmiştir. Toplanmış IVq-ROF karar matrisi $\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n}$ burad $\tilde{x}_{ij} = [\mu_{ij}^{(L)}, \mu_{ij}^{(U)}, \nu_{ij}^{(L)}, \nu_{ij}^{(U)}]$ ij ij

inşa edildi.

Adım 4. Kriterlerin ağırlıklarını hesaplayın. $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ olsun, burada $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlık vektörü ve $(w_{ij})_{1 \times n}$ j

j^{inci} kriterin IVq-ROF ağırlığını gösterir. Entropi ölçüsü teorisine dayanarak, her bir kriterin entropi ölçüsü $E(w_j)$ aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$E(w_j) = \sum_{i=1}^m \left[1 - \left(\mu_{ij}^{(L)} + \nu_{ij}^{(L)} \right) \right] \mu_{ij}^{(L)} \nu_{ij}^{(L)} = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

J. kriter için normalleştirilmiş kriter ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$w_j = \frac{E(w_j)}{\sum_{j=1}^n E(w_j)} \quad (22)$$

Alternatif seçenekler IVq-ROF CODAS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir

aşağıdaki gibi:

Adım 5. Toplanmış IVq-ROF karar matrisini her bir kriterin türünü dikkate alarak normalleştirin. Maliyet kriterlerini dikkate alan alternatifler için yargı bilgileri, aşağıdaki gibi fayda ve maliyet kriterlerine ilişkin yargı bilgilerine dönüştürülür (Denklem (23)):

$$\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{m \times n} = \begin{cases} ((\mu_{ij}^{(L)}, \nu_{ij}^{(U)}), (\mu_{ij}^{(U)}, \nu_{ij}^{(L)})) & \text{eğer } C_j \text{ maliyet türü ise} \\ ((\mu_{ij}^{(L)}, \nu_{ij}^{(L)}), (\mu_{ij}^{(U)}, \nu_{ij}^{(U)})) & \text{eğer } C_j \text{ fayda türü ise} \end{cases} \quad (23)$$

Burada m_j normalleştirilmiş IVq-ROF karar matrisini temsil eder.

Adım 6. Ağırlıklı normalleştirilmiş IVq-ROF karar matrisini oluşturun. Bu matris ağırlıklı normalize edilmiş IVq-ROF karar matrisi Denklem 24 ve 25 kullanılarak oluşturulur.

$$\tilde{S} = [\tilde{s}_{ij}]_{m \times n} \quad (24)$$

$$\tilde{s}_{ij} = w_j \otimes \tilde{n}_{ij} \quad (25)$$

Adım 7. Negatif ideal çözümü belirleyin. Negatif ideal çözüm, ağırlıklı normalize edilmiş IVq-ROF karar matrisi için aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\tilde{N}S = [\tilde{n}_{ij}]_{m \times n} \quad (1) \text{ (26)}$$

$$\tilde{n}_{ij} = \begin{cases} \min_i \mu_{ij}^{(L)}, \min_i \mu_{ij}^{(U)} \\ \max_i \nu_{ij}^{(L)}, \max_i \nu_{ij}^{(U)} \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (27)$$

Adım 8. IVq-ROF ağırlıklı Öklid (ED) ve IVq-ROF ağırlıklı Hamming (HD) mesafelerini hesaplayın. Negatif ideal çözüme olan mesafeler kullanılarak en uygun alternatif seçilir. Uzaklıklar aşağıdaki gibi elde edilir:

$$ED_i = \sum_{j=1}^n d(E_i, \tilde{s}_{ij}, \tilde{n}_{ij}) \quad (28)$$

$$HD_i = \sum_{j=1}^n d(H_i, \tilde{s}_{ij}, \tilde{n}_{ij}) \quad (29)$$

$$ED_i = \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{4} \left(\mu_{ij}^{(L)} - \mu_{ij}^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\mu_{ij}^{(U)} - \mu_{ij}^{(U)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\nu_{ij}^{(L)} - \nu_{ij}^{(L)} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\nu_{ij}^{(U)} - \nu_{ij}^{(U)} \right)^2 \right] \quad (30)$$

$$HD_i = \frac{1}{4} \left[\left| \mu_{ij}^{(L)} - \mu_{ij}^{(L)} \right| + \left| \mu_{ij}^{(U)} - \mu_{ij}^{(U)} \right| + \left| \nu_{ij}^{(L)} - \nu_{ij}^{(L)} \right| + \left| \nu_{ij}^{(U)} - \nu_{ij}^{(U)} \right| \right] \quad (31)$$

Adım 9. Bağıl değerlendirme matrisini (RA) elde edin. ED dikkate alındığında ve her bir alternatif seçenek için HD değerleri, RA matrisi Denklem 32-34 kullanılarak oluşturulur

$$RA = [p_{ij}]_{m \times n} \quad (32)$$

$$p_{ij} = (ED_i - ED_j) + \partial (ED_j - ED_i) * (HD_i - HD_j) \quad (33)$$

$$\partial(x) = \begin{cases} 1 & |x| \geq \rho \\ 0 & |x| < \rho \end{cases} \quad (34)$$

Burada $\partial \in \{1, 2, \dots, n\}$, ∂ fonksiyonunun eşik değeri (ρ) DM'ler tarafından belirlenebilir. Bu çalışmada ρ değeri 0.01 ile 0.01 arasında alınmıştır.

DM ile 0.05.

10. Adım. Her bir alternatif seçenек için değerlendirme puanını (AS) hesaplayın. Her bir alternatifin değerlendirme puanı Denklem (35)'te gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$AS = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (35)$$

Adım 11. Alternatif seçenекler, değerlendirme puanlarının (AS) azalan değerlerine göre sıralanır. Sonuç olarak, en yüksek AS dikkate alınarak en uygun alternatif elde edilir.

4. Vaka çalışması: İstanbul'da IoT tabanlı sürdürülebilir akıllı atık yönetim sisteminin değerlendirilmesi

Önerilen modelin uygulanabilirliğini ve etkinliğini doğrulamak için, önerilen model İstanbul'daki yerel belediye için IoT'ye dayalı en uygun akıllı atık toplama sistemini seçmek için uygulanmıştır.

4.1. Sorun tanımı

Türkiye'nin atık sorunu, ülke ekonomisinin, toplumun ve çevrenin sürdürülebilirliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Atıkların ekonomik bir şekilde toplanabilmesi için kapsamlı ve sistematik bir süreç gerekmektedir, sosyal ve çevresel faydalar sağlamaktadır [64]. Türkiye'deki üretim ve tüketim faaliyetleri göz önüne alındığında, artan tüketim sonucunda ortaya çıkan atıkların toplanması, insan ve çevre sağlığını tehdit ettiği için daha önemli bir konu haline gelmiştir. Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, atık oluşumunu önlemek/azaltmak ve halk sağlığı ile çevre ve doğal kaynakları korumak amacıyla Avrupa Birliği (AB) atık yönetimi politikalarıyla uyumlu atık yönetmelikleri ve eylem planları uygulamaktadır [13,65].

Tüm belediyelere uygulanan 2018 yılı Belediye Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 1399 belediyeden 1395'inin atık hizmeti verdiği tespit edildi. İstanbul'da atık hizmeti veren belediyeler 2018 yılında 32 milyon 209 bin ton atık topladı. Türkiye'deki üç büyük şehirde günlük ortalama atık miktarı Toplanan kişi başına İstanbul için 1,28 kg, Ankara için 1,18 kg ve İzmir için sırasıyla 1,36 kg. İstanbul'daki belediyeler için yıllara göre toplanan belediye atığı miktarı ve düzenli depolama oranı Şekil 3'te gösterilmektedir.

Bununla birlikte, atık yönetim sistemi maliyetinin %65-%80'i atıkların toplanması ve taşınmasından oluşur. İşletme maliyeti İstanbul'da atık toplama ve taşımanın yıllık maliyeti yaklaşık 220 milyon dolardır. Yerel yönetimler için faydalı olacaktır.

İstanbul'da günlük atık toplama hizmetleri yerel yönetimler için ciddi bir mali yük oluşturduğundan, belediyelerin sorumlu oldukları alanın atık haritasını çıkarması ve optimum bir yol belirlemesi gerekmektedir. Bu nedenle, hangi bölgede ne kadar ve ne tür atık ürettiği hakkında bilgi sahibi olmak hükümet için çok önemlidir. İnşa edilen

sistem yerel belediyelere en uygun yöntemin geliştirilmesinde yardımcı olmalıdır. zaman ve maliyet unsurlarını göz önünde bulundurarak uygun toplama süresi ve yöntemini belirlemelidir. Sonuç olarak, belediyeler atık yönetim sistemi üzerinde gerekli çalışmaları yaparlarsa, atık toplama ve taşıma maliyetlerini yarı yarıya azaltabilirler. Böylece sadece İstanbul'da yılda 100 milyon dolar, Türkiye'de ise yaklaşık 460 milyon dolar maliyet tasarrufu sağlanabilir. Ayrıca önemli miktarda sera gazı emisyonunun azaltılmasına da katkıda bulunurlar [67]. Çöp konteynerleri kullanılarak atık toplanması en yaygın atık toplama yöntemidir, ancak bu durum sağlık sorunlarına ve yüksek işletme maliyetine neden olmaktadır. Bu nedenle, atık izlemeyi hızlı ve daha az maliyetli hale getiren kızılötesi sensörler, metal dedektörleri, koku alıcıları gibi teknolojik yenilikler atık yönetimine önemli katkılarda bulunmuştur [68].

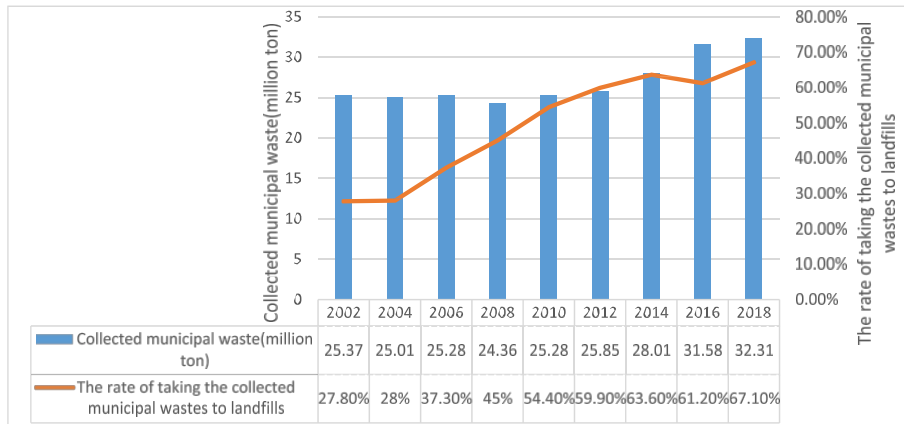
Dünyada akıllı şehir teknolojileri ve platformlarının geliştirilmesi ve uygulanması ile atık toplama için yeni çözümler geliştirilmiştir. BİT ve IoT kullanımı, küresel atık yönetim sistemini etkin ve verimli bir şekilde yönetmek için yeni nesil yaklaşımlar önermektedir [48]. IoT, dijitalleşme ve ICT'nin atık yönetiminde uygulanması ile atık yönetimi güvenilir, trans- parent, verimli ve sürdürülebilir hale gelmektedir [49].

Ancak, atık bertaraf teknolojilerinin yanlış seçiminin çevresel kalkınma ve ekonomik büyüme üzerinde uzun vadeli olumsuz etkileri vardır. Atık toplama sistemleri için farklı teknolojilerin dezavantajları ve avantajları olduğundan, en uygun teknolojinin seçim sürecinde çeşitli ekonomik, sosyal ve çevresel hususların dikkate alınması gerekmektedir [69].

4.2. Akıllı atık toplama alternatifleri ve değerlendirme kriterleri

Bu çalışmada, İstanbul'daki yerel bir belediyenin verimli ve uygun maliyetli atık toplaması için IoT tabanlı akıllı atık toplama sistemi için akıllı bir sistem çözümü araştırılmıştır. Seçilen atık toplama teknolojisinin amacı, belediyelerin uzun vadeli planlamaları için atık yönetim sistemini mevcut teknolojilerle olgunlaştırarak atık yönetimi sorunlarını en aza indirmektir. Buna göre, belediye yöneticileri IoT'ye dayalı dört farklı akıllı atık toplama sistemini artı ve eksileriyle birlikte sistemlerin ekonomik, sosyal, çevresel ve teknolojik yönleri açısından değerlendirmektedir. Atık yönetim sistemlerinin sürdürülebilirliğine ilişkin belirlenen dört farklı alternatif ve ilgili değerlendirme kriterleri aşağıdaki gibidir:

Atık yönetim sisteminin RFID, GIS ve GPRS entegrasyonu (A1). Gerçek zamanlı izleme ve yönetim için web tabanlı bir çözüm olarak



Şekil 3. Yıllara göre toplanan belediye atığı miktarı ve düzenli depolama oranı [66].

RFID, GPS, GSM ve GIS teknolojilerini içermektedir. Konteynerlere yerleştirilen sensörler, sokaklardaki konteynerlerin doluluk oranını gerçek zamanlı olarak bildirmektedir. Atık konteynerlerinin doluluk seviyesine bağlı olarak, atık toplama kamyonu için optimize edilmiş bir yol seçilir ve bu da CBS'ye dayalı yakıt maliyetini azaltır. Araçlara ve konteynerlere takılan RFID sensörleri ile atık kamyonunun anlık konumu GPS ile takip edilebilmektedir. Geliştirilen yazılım ile bir atık konteynerinin seri numarası ve konumunun doğru takibi sayesinde doluluk oranına bağlı olarak konteynerlerin ne zaman toplanması gerektiği, bu konteynerleri toplamak için kaç kamyonun çalışması gerektiği ve en önemlisi bu kamyonların günlük olarak hangi rotaları takip etmesi gerektiği belirlenebilmektedir.

Güneş enerjisiyle çalışan atık sıkıştırıcı sistemi (A2). Bu sistem, bir konteynerin doluluk seviyesini gerçek zamanlı olarak okuyan akıllı bir cihazdan oluşmaktadır.

zaman, atıkların otomatik olarak sıkıştırılmasını tetikleyerek konteynerin kapasitesini 5-8 kata kadar etkili bir şekilde artırır. Kompaktör sistemi, şarj edilmiş bir batarya ve güneş paneli ile çalışmaktadır. Söz konusu IoT-tabanlı güneş enerjili atık yönetim sistemi verimli ve uygun maliyetli bir çözüm sağlar. Bu sistem aynı zamanda gerçek zamanlı uzaktan izleme sağlar.

Yeraltı Atık Konteyner sistemi (A3): Yeraltı çöp konteynerleri dar alanlarda yer altına dikey olarak yerleştirilir ve koku, su bakterisi, hastalık ve benzeri istenmeyen sonuçların yayılmasını önleyerek tüm atıkların toplanmasını sağlar. Bu sistemin sokaklarda uygulanması ile görüntü kirliliği de tamamen ortadan kalkmaktadır. Önemli bir kısmı yer altına yerleştirilen çöp konteynerlerine yerleştirilen sensörler ile araçtan veya merkezden atık miktarı fark edilerek kamyonların güzergahları belirleniyor.

Atık toplama için Mobil Uygulama (A4): Vatandaşların atık yönetimi döngüsüne tamamen katılmalarını desteklemek için bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Bu sistem, özellikle atık konteynerlerinin yerleştirilmesinin zor olduğu dar sokaklarda atıkların daha kolay toplanması için akıllı izleme ve atıkların verimli bir şekilde toplanmasını içeren akıllı bir uygulama sunmaktadır. Android ve IOS mobil işletim sistemleri ile uyumludur. Atık kamyonları, sokaklardaki atıkların toplanması için akıllı uygulama ile entegre edilmiştir. Kamyon sokağa yaklaştığında mahalle sakinlerine SMS tabanlı bildirim gönderiliyor. Böylece vatandaşlar çöplerini gerçek zamanlı olarak boşaltıyor. Atıkların yerde kalma süresi kısaldığı için çevre kirliliğinin önüne geçiliyor. Vatandaşlar ayrıca mobil uygulama üzerinden kamyonların durumunu online olarak kontrol edebiliyor.

Alternatif çözümler belirlendikten sonra IoT tabanlı akıllı atık toplama sistemi için değerlendirme kriterleri şu şekilde belirlenmiştir:

Toplum, hükümet ve endüstri arasındaki etkileşim ağı sağlanması (C1): IoT tabanlı sistemden, vatandaşların istek veya şikayetlerini bildirebilecekleri öneri kutuları, belediyeye ait bir geri bildirim web sitesi ve belediye ile vatandaşlar arasındaki etkileşim tartışmaları için bir portal sağlaması beklenmektedir.

Atık toplama süreci maliyeti (C2) dikkate alınarak yüksek verimlilik sağlanması: Atık yönetimi için IoT tabanlı sistem, kaynakların daha verimli kullanılmasını ve gereksiz harcamaların en aza indirilmesini göz önünde bulundurarak düşük maliyetli kaynak tüketimi ile malzeme ve işgücü verimliliği sağlamalıdır.

IoT tabanlı atık yönetimi hizmetinin uygun yatırım maliyeti (C3): Maliyetler, akıllı cihazların yüksek maliyeti ve çalışanlara bilgi vermek için kurulum nedeniyle IoT uygulamasının ana sorunudur [[49,70,71]]. Atık yönetimi için seçilen IoT teknolojisi, uygun maliyetli ve uygun fiyatlı hizmetler sağlamalıdır.

Operasyonel maliyet ve uzatılmış geri ödeme süresi (C4): Atık yönetimi için seçilen IoT teknolojisi aylık minimum hizmet maliyeti, düşük bakım ve işletme maliyeti sağlamalıdır. Profesyonellerin yüksek maliyeti, bakım ve çalışanları bilgilendirmek için eğitim maliyetleri bu uygulamaları gerçekleştirmeyi gerektirir.

Güvenlik ve gizlilik (C5): Güvenlik ve gizlilik sorunları nedeniyle veri sızıntısı ortaya çıkabilir. IoT teknoloji sistemleri çeşitli sorunlarla karşılaşabilir

Siteler arası komut dosyası oluşturma gibi saldırılar veya koğuş hassasiyetlerine yol açan yan kanallara sahip olma [70]. Risk, mobilite ve sistem bileşenleri arasındaki etkileşimlerle daha da artmaktadır [49,72].

Çevrenin korunması ve tehlikelerin azaltılması faaliyetleri (C6): Atık yönetimine yönelik akıllı uygulamalar, toplumun yaşam kapasitesini geliştirmeli ve bölgedeki vatandaşlar için güvenlik ve sağlık sağlamalıdır.

Eстетik (C7): Bu kriter, çevrenin görsel ve fiziksel yönleriyle ilgilidir. Atık yönetimi için IoT tabanlı teknoloji sistemi bu yönleri sağlar [3].

Sürdürülebilirlik (C8): Çevresel, ekonomik ve sosyal özellikler gibi bazı sürdürülebilir hususlar IoT tabanlı akıllı atık teknolojisi tarafından karşılanmalıdır. Bu nedenle, IoT teknoloji sistemi, atık yönetiminde kullanılan uygun sensörler, GPS, mobil uygulama, bulut sistemi içerir ve çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği garanti etmelidir [3].

Standardizasyon (C9): Akıllı atık teknolojisi, çevre, akıllı nesneler ve diğer sistemler arasında iletişim ve bilgi alışverişi için standardizasyon gerektirmektedir. Tanımlama, iletişim ve gizlilik gibi standartlar, IoT'nin başarılı bir şekilde uygulanmasında temel faaliyetlerdir [[49,73,74]].

Kullanım kolaylığı (C10): Çok fazla operasyonel karmaşıklık daha yüksek oranda insan hatasını teşvik edebileceğinden, bakım maliyetlerinin artmasına ve potansiyel olarak daha uzun arıza duruş sürelerine neden olabileceğinden, IoT teknoloji sisteminin sürdürülebilir ve güvenilir çalışması için operasyon kolaylığı kritik öneme sahiptir. **Toplanan atık miktarı (C11):** IoT teknoloji sistemi tarafından toplanan maksimum atık miktarı, konteynerlerin sayısı ve kapasitesi ve konteynerlerin gerçek zamanlı doluluk seviyesinin izlenmesi ile ilgilidir.

4.3. Problem çözümü ve sonuçlar

İstanbul'daki yerel belediye için IoT tabanlı en uygun akıllı atık toplama sistemini seçmek için, IVq-ROF ortamında modifiye Entropi ve CODAS ilk kez tanıtılmış ve uygulama adımları aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir:

Adım 1. Bir DM grubu oluşturun ve en uygun IoT tabanlı atık yönetim sistemi için kriterleri ve alternatifleri belirleyin. Alternatifler ve sürdürülebilirlikle ilgili kriterler belediyedeki çevre koruma ve kontrol müdürlüğünden iki yönetici, belediyede akıllı şehir projelerini yürüten iki yönetici ve akıllı atık yönetimi alanında çalışan bir üniversite akademisyeninden oluşan beş DM tarafından belirlendikten sonra, en uygun IoT tabanlı atık yönetim sistemini seçmek için her bir DM için karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisleri, dört adet IoT tabanlı atık yönetim sistemi alternatifi ($A_1, A_2, \dots, A_m$) ve yukarıdaki gibi belirlenen 11 değerlendirme kriterine ($C_1, C_2, \dots, C_n$) sahip olup Tablo 1'deki gibi IVq-ROFN'ler kullanılarak DM'ler tarafından ifade edilen dilsel terimler aracılığıyla oluşturulmuştur. Kriterlere göre alternatif IoT tabanlı atık yönetim sistemleri için karar matrisi Tablo 2'de verilmiştir.

Değerlendirme kriterleri için göreceli ağırlık vektörü, modifiye IVq-ROF-Entropi yöntemi kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir:

Adım 2. IVq-ROFN'ler için beklenen üyelik ve üyelik dışı değerleri hesaplayın. İyimserlik derecesi (0,5) kullanılarak IVq-ROFN'ler için beklenen üyelik ve üyelik dışı değerler Eşitlik 19 ve 20 kullanılarak hesaplanır.

Adım 3. Birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması. DM'ler tarafından oluşturulan bireysel karar matrisleri, Denklem (13)'te verilen IVq-ROFWG kullanılarak tek bir karar matrisinde toplanır. Böylece, kriterlere göre IoT tabanlı atık yönetim sistemi alternatif değerlendirmesi için birleştirilmiş IVq-ROF karar matrisi Tablo 3'teki gibi oluşturulur.

Adım 4. Kriterlerin ağırlıklarını hesaplayın. Entropi ölçüsü teorisi uygulanarak, her bir kriterin entropi ölçüsü denklem (21) kullanılarak hesaplanır. Ardından, kriter ağırlıkları Denklem (22) kullanılarak elde edilir.

Belirlenen değerlendirme kriterlerine göre IoT tabanlı dört atık yönetim sistemi alternatifi aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir:

Tablo 2

Kriterlere göre IoT tabanlı atık yönetim sistemi alternatifleri için karar matrisi.

DM	Alternatifler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
DM1	A1	MG	G	G	MG	MG	MG	MG	G	MG	G	VG
	A2	MG	G	G	MG	G	M	MG	MG	MG	G	G
	A3	G	MG	M	G	G	MG	VG	MG	MG	M	MG
	A4	M	M	M	MG	MG	M	G	M	MG	M	M
DM2	A1	MG	G	G	G	G	G	MG	G	G	G	G
	A2	MG	VG	MG	MG	MG	G	MG	G	G	VG	G
	A3	G	MG	MG	VG	G	G	G	VG	MG	G	VG
	A4	VG	G	M	MG	M	MG	MG	G	M	MG	M
DM3	A1	MG	VG	G	VG	VG	G	VG	VG	G	G	VG
	A2	MG	G	MG	G	G	G	G	VG	MG	G	VG
	A3	G	MG	MG	VG	MG	M	G	MG	G	VG	G
	A4	G	MG	M	G	MG	M	MG	MG	MG	VG	MG
DM4	A1	G	G	G	MG	MG	G	G	G	MG	M	G
	A2	G	G	G	MG	M	G	G	MG	MG	MG	MG
	A3	MG	MG	MG	MG	MP	MG	G	MG	MG	MG	M
	A4	MG	M	MP	MP	MP	M	MG	MP	M	MG	MP
DM5	A1	MG	MG	MG	MG	MG	M	M	G	MG	MG	G
	A2	M	M	MG	MG	MG	M	MG	MG	MG	MG	G
	A3	M	M	M	MG	MG	M	MG	M	MG	MG	MG
	A4	MG	M	MP	M	M	M	M	MP	M	G	M

Tablo 3

Birleştirilmiş karar matrisi.

Kritik.	A1				A2				A3				A4			
	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U
C1	0.477	0.627	0.144	0.243	0.487	0.605	0.364	0.370	0.546	0.661	0.364	0.368	0.539	0.649	0.364	0.369
C2	0.592	0.735	0.116	0.209	0.605	0.709	0.363	0.366	0.460	0.579	0.364	0.372	0.508	0.562	0.452	0.453
C3	0.566	0.717	0.118	0.214	0.505	0.656	0.138	0.235	0.469	0.558	0.417	0.421	0.434	0.479	0.470	0.522
C4	0.528	0.673	0.137	0.232	0.477	0.627	0.144	0.243	0.585	0.721	0.127	0.217	0.463	0.571	0.385	0.443
C5	0.528	0.673	0.137	0.232	0.516	0.633	0.364	0.369	0.480	0.619	0.291	0.404	0.446	0.527	0.430	0.471
C6	0.546	0.661	0.364	0.368	0.558	0.638	0.417	0.418	0.497	0.583	0.417	0.420	0.490	0.519	0.479	0.479
C7	0.539	0.649	0.364	0.369	0.505	0.656	0.138	0.235	0.592	0.735	0.116	0.209	0.487	0.605	0.364	0.370
C8	0.627	0.769	0.096	0.193	0.528	0.673	0.137	0.232	0.509	0.620	0.364	0.370	0.440	0.539	0.401	0.485
C9	0.505	0.656	0.138	0.235	0.477	0.627	0.144	0.243	0.477	0.627	0.144	0.243	0.479	0.538	0.452	0.454
C10	0.546	0.661	0.364	0.368	0.559	0.703	0.128	0.222	0.539	0.649	0.364	0.369	0.539	0.649	0.364	0.369
C11	0.656	0.789	0.091	0.186	0.592	0.735	0.116	0.209	0.539	0.649	0.364	0.369	0.456	0.508	0.461	0.493

Tablo 4

Ağırlıklı Normalleştirilmiş matris.

Kritik.	A1				A2				A3				A4			
	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U
C1	0.761	0.816	0.839	0.880	0.764	0.808	0.912	0.914	0.787	0.828	0.912	0.913	0.784	0.823	0.912	0.913
C2	0.805	0.855	0.821	0.866	0.809	0.846	0.911	0.912	0.756	0.800	0.911	0.913	0.753	0.753	0.940	0.948
C3	0.564	0.639	0.948	0.969	0.582	0.652	0.938	0.961	0.741	0.742	0.932	0.947	0.762	0.782	0.925	0.933
C4	0.577	0.645	0.944	0.965	0.583	0.651	0.936	0.959	0.568	0.636	0.953	0.971	0.722	0.746	0.933	0.951
C5	0.782	0.833	0.833	0.874	0.777	0.819	0.911	0.912	0.764	0.815	0.893	0.920	0.744	0.760	0.929	0.943
C6	0.785	0.826	0.913	0.914	0.789	0.818	0.925	0.925	0.767	0.799	0.925	0.925	0.760	0.760	0.938	0.943
C7	0.786	0.825	0.911	0.912	0.773	0.827	0.833	0.875	0.805	0.855	0.821	0.866	0.716	0.719	0.936	0.955
C8	0.820	0.869	0.803	0.857	0.784	0.836	0.830	0.872	0.777	0.817	0.910	0.911	0.734	0.768	0.926	0.944
C9	0.762	0.816	0.846	0.885	0.751	0.806	0.850	0.888	0.751	0.806	0.850	0.888	0.741	0.742	0.940	0.949
C10	0.787	0.828	0.912	0.913	0.791	0.842	0.830	0.872	0.784	0.823	0.912	0.913	0.714	0.716	0.946	0.961
C11	0.827	0.874	0.802	0.857	0.805	0.855	0.821	0.866	0.786	0.825	0.911	0.912	0.756	0.769	0.930	0.940

Adım 5. Toplanmış IVq-ROF karar matrisini her bir kriterin türünü dikkate alarak normalleştirin. Karar matrisi Denklem (23) kullanılarak normalleştirilir.

Adım 6. Ağırlıklı normalleştirilmiş IVq-ROF karar matrisini oluşturun. Ağırlıklı normalleştirilmiş IVq-ROF karar matrisi Denklem 24 ve 25 kullanılarak oluşturulur. Sonuç olarak, ağırlıklı normalleştirilmiş matris Tablo 4'te gösterilmektedir.

Adım 7. Negatif ideal çözümü belirleyin. Negatif ideal çözüm, ağırlıklandırılmış normalize IVq-ROF karar matrisi için Denklem 26 ve 27'deki gibi belirlenir. Sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Adım 8. IVq-ROF ağırlıklı Öklid (ED) ve IVq-ROF ağırlıklı Hamming (HD) mesafelerini hesaplayın. En uygun IoT tabanlı atık yönetim sistemi alternatifini elde etmek için nega-

tif ideal çözüm Denklem 28-31 kullanılarak hesaplanır.

Adım 9. Bağlı değerlendirme matrisini (RA) oluşturun. ED dikkate alınarak ve HD değerleri için Eşitlik 32-34 uygulanarak RA matrisi oluşturulmuştur. RA matrisi Tablo 6'daki gibi elde edilir.

10. Adım. Her bir alternatif seçenek için değerlendirme puanını (AS) belirleyin. Her bir IoT tabanlı atık yönetim sistemi alternatifinin değerlendirme puanı Denklem (35)'te gösterildiği gibi hesaplanabilir. Sonuçlar şu şekildedir

Tablo 5
IVq-ROF negatif-ideal çözüm.

Kriterler	μ^L	μ^U	ν^L	ν^U
C1	0.761	0.808	0.912	0.914
C2	0.753	0.753	0.940	0.948
C3	0.564	0.639	0.948	0.969
C4	0.568	0.636	0.953	0.971
C5	0.744	0.760	0.929	0.943
C6	0.760	0.760	0.938	0.943
C7	0.716	0.719	0.936	0.955
C8	0.734	0.768	0.926	0.944
C9	0.741	0.742	0.940	0.949
C10	0.714	0.716	0.946	0.961
C11	0.756	0.769	0.930	0.940

Tablo 6
IoT alternatiflerine dayalı akıllı atık toplama sistemi için RA matrisi.

—	Göreceli değerlendirme (RA)			
	A1	A2	A3	A4 A1
A1	0.000	1.294	1.361	1.892
A2	-1.294	0.000	-0.008	0.597
A3	-1.361	0.008	0.000	0.531
A4	-1.892	-0.597	-0.531	0.000

Tablo 7
AS ve alternatiflerin sıralanması.

Alternatifler	IVq-ROF'a dayalı Entropi ve CODAS	
	AS	Rütbe
A1	4.547	1
A2	-0.705	2
A3	-0.821	3
A4	-3.020	4

Tablo 7'de gösterilmiştir.

Adım 11. Tüm IoT tabanlı atık yönetim sistemi alternatiflerini değerlendirme puanlarının azalan değerlerine göre sıralayın. Tüm IoT tabanlı atık yönetim sistemi alternatifleri AS'lerin azalan değerlerine göre sıralandıktan sonra, en uygun olanı seçilir. Sonuçlar Tablo 7'de gösterilmektedir. IoT alternatiflerine dayalı olarak bu dört ana akıllı atık toplama sisteminin optimum sıralaması A1> A2> A3> A4 şeklindedir. Bu nedenle, atık yönetim sisteminin RFID, GIS ve GPRS entegrasyonu (A1), sürdürülebilirliği sağladığından İstanbul'daki belediye için en iyi seçenektir.

IoT tabanlı akıllı atık toplama sistemi için geliştirme hedefleri. Sonuçlara göre, atık yönetim sisteminin RFID, GIS ve GPRS entegrasyonu, belediye atık yönetim sistemindeki günlük süreçleri ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan optimize etmek için IoT teknolojisine dayalı en iyi akıllı atık toplama sistemi olarak seçilmiştir. Önerilen sistem atık toplama, taşıma ve izleme için internet veya web tabanlı bir çözüm sunarken, yüksek hızlı veri iletimi, hassasiyet, gerçek zamanlı veri iletişimi ve güvenilirlik açısından tatmin edici bir performans göstermektedir. Sistem, verileri akıllıca kullanarak atıkların uygun şekilde toplanmasını ve yönetilmesini sağlama kapasitesine sahiptir. RFID teknolojisi, konteynerlerin doluluk seviyesi hakkında gerçek zamanlı bir bilgi sağlar, kamyon sürücüsünün rastgele değil planlı bir şekilde hareket ederek ihtiyaç duyulan yere, ihtiyaç duyulduğu anda gitmesine yardımcı olur. RFID'den aldığı sinyal ile hareket eden sürücü, manuel olarak değil GIS kullanarak en uygun rotayı bulur. Takip ünitesi ile sunucu arasındaki iletişim ve araç konum takibinde GSM ve GIS entegrasyonu kullanılır. Böylece kamyonun hareketi merkez tarafından GPS ile gerçek zamanlı olarak izlenir. Sonuç olarak, seçilen sistem yüksek ekonomik ve sosyal faydaların yanı sıra çevre ve hava kirliliğinde büyük bir azalma sağlamaktadır.

geleneksel sistemler yoluyla yayılan kirlilik.

5. Sonuçların tartışılması

Bu bölümde önerilen çerçevenin geçerliliğini ve uygulanabilirliğini teyit etmek için Duyarlılık ve Karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

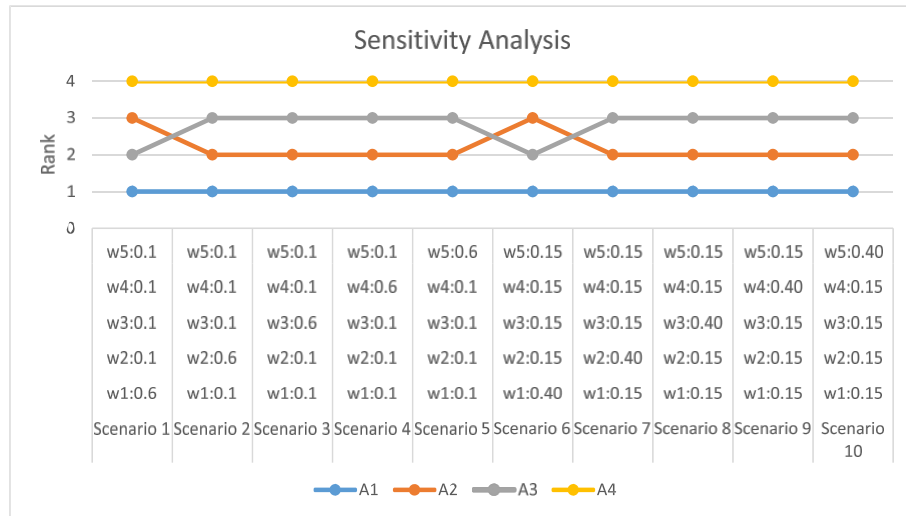
5.1. Duyarlılık analizi

IVq-ROFS'lar temelinde değiştirilmiş Entropi ve CODAS yönteminin öncelik sıralaması tutarlılığını kontrol etmek için bu alt bölümde Duyarlılık Analizi gerçekleştirilmiştir. DM'lerin ağırlığı sıralama sonuçlarını önemli ölçüde etkilediğinden, DM'lerin ağırlığındaki değişim duyarlılık analizinde değerlendirilebilir. Buna göre, duyarlılık analizinin amacı, DM'lerin ağırlıklarının değişmesine bağlı olarak alternatiflerin sıralamasındaki değişiklikleri ortaya koymaktır. Böylece, her bir DM'nin alternatiflerin tercih değerleri üzerindeki etkisinin önemi ortaya konmaktadır. Temel durum senaryosu için DM'lerin ağırlıkları eşit olarak belirlenmiştir. Geri kalan senaryolar dört farklı DM'nin ağırlığının korunması şeklinde oluşturulmuştur.

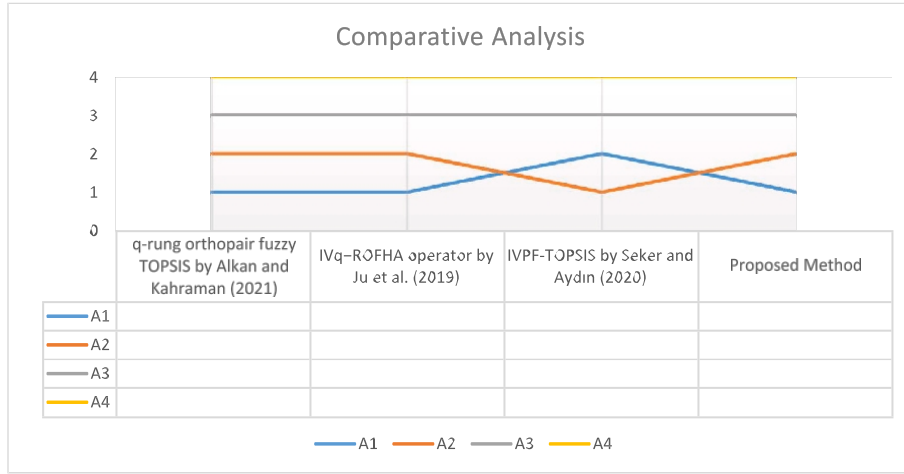
DM'lerin ağırlığını sabit tutmak ve sonuncuların ağırlığını kendi ağırlığını dikkate alarak değiştirmek

deneyimi ve iş sorumluluğu. Duyarlılık analizi sonuçları

her bir senaryo için Şekil 4'te karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, tüm senaryolar için A1'in her zaman en iyi, A4'ün ise en kötü seçenek olduğu kolayca gözlemlenebilir. Ayrıca, Senaryo 1 ve Senaryo 6 dışındaki tüm senaryolarda alternatifler için aynı sıralama düzeni elde edilmiştir. Bu



Şekil 4. Senaryolara dayalı Duyarlılık Analizi sonuçları.



Şekil 5. Karşılaştırmalı analiz sonuçları. Karşılaştırmalı analizlerin sonuçları.

alternatif sıralamaların, oluşturulan senaryolara göre sadece birinci DM ağırlığının değişimine duyarlı olduğunu kanıtlamaktadır. Dolayısıyla, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci DM'ler tarafından verilen derecelendirmelerin etkisi üzerinde ciddi bir önyargı bulunmamaktadır. Sonuç olarak, duyarlılık analizi önerilen çerçeve için sonuçların sağlamlığını ve güvenilirliğini göstermektedir.

5.2. Karşılaştırmalı analiz

Önerilen yöntemin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini test etmek için, önerilen yöntem iki farklı q-ROF tabanlı ÇKKV yöntemi ve IVPFS'lere dayalı bir ÇKKV yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalı analizlerde Bölüm 4'teki aynı karar verileri kullanılmıştır. Buna göre, karşılaştırmalı analizler Alkan ve Kahraman [75] tarafından $q=5$ ile önerilen q basamaklı ortopair bulanık TOPSIS yöntemi ve Ju ve diğerleri [57] tarafından $q=5$ ile önerilen Aralık değerli q basamaklı ortopair bulanık hibrit ortalama (IVq-ROFHA) operatörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, önerilen yaklaşım Şeker ve Aydın [76] tarafından önerilen IVPF tabanlı ÇKKV yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Alkan ve Kahraman [75] tarafından sunulan çalışma ile karşılaştırmak amacıyla IVq-ROF-CODAS için kullanılan ölçekler q-ROF ölçeğine dönüştürülmüştür. Sonuç olarak, alternatifler için aynı sıralama sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra, aynı problem Ju ve diğerleri [57] tarafından önerilen aralık değerli q -seviyeli ortopair bulanık hibrit ortalama (IVq-ROFHA) operatörü ile karşılaştırılmıştır. Bu operatör sıralama sonuçları değişmemektedir. Karşılaştırmalı analiz yapmak için IVq-ROF ölçeği TOPSIS yöntemi için IVPF ölçeğine dönüştürülmüştür.

IVPF Şeker ve Aydın tarafından tanımlanmıştır [76]. IVPF-TOPSIS ile elde edilen genel sıralama A2, A1, A3 A4 şeklindedir. q-ROF tabanlı ÇKKV yöntemleri ve IVPF tabanlı ÇKKV kullanılarak yapılan karşılaştırmalı analizlerin sonuçları Şekil 5'te gösterilmektedir. Sonuç olarak, modifiye edilmiş IVq-ROF Entropi ve CODAS yöntemine dayalı nispeten tutarlı sonuçlar elde edilirken, IVPF-TOPSIS yöntemine dayalı tırmıklama sonuçlarında küçük farklılıklar görülmektedir.

IVPF-TOPSIS. Üçüncü ve son sıradaki sıralama değişmezken

A1 ve A2 alternatiflerinin sıralama düzeni değişmiştir. Bu

IVq-ROFS, karar verme problemlerinde DM grupları arasındaki bilgi ve tutarsızlıklar nedeniyle daha geniş bir alandaki belirsizlikleri ve eksiklikleri karşılamada daha fazla avantaj sağladığından kaçınılmazdır. Böylece, karşılaştırmalı analizler, en uygun IoT teknolojisi tabanlı akıllı atık toplama sisteminin seçilmesinde önerilen yaklaşımın sağlamlığını ve üstünlüğünü kanıtlamakta ve pratik ve gerçek hayattaki karar verme problemlerinde kullanılabilir.

6. Sonuç

Atık yönetimi gelişmiş/gelişmekte olan ülkelerin en önemli sorunlarından biridir. Ayrıca, atık toplama ve taşıma en önemli ve maliyetli adımlar olarak kabul edilmektedir.

emek yoğun süreçler gerektirdiğinden, atık yönetiminde çok önemli bir yere sahiptir. Ancak belediyelerde atık yönetimine yönelik mevcut uygulamalar, atık toplama işleminin manuel olarak sağlıksız ve verimsiz bir şekilde yürütüldüğünü göstermektedir. Bu nedenle akıllı sistem çözümlerine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu bildiri, atık toplama ve taşıma sistemleri için IoT tabanlı teknolojileri entegre ederek atıkların gerçek zamanlı toplanmasını sağlayarak maliyeti azaltmayı ve çevre kirliliğini en aza indirmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla, bu bildiride IVq-ROFSs temelinde CODAS yöntemi ve modifiye Entropi ölçütü kullanılarak İstanbul'daki yerel belediye için IoT teknolojisine dayalı en uygun akıllı atık toplama sisteminin seçimi sunulmuştur. IVq-ROF CODAS yöntemi, etkin atık yönetimi hem nicel hem de nitel faktörler nedeniyle karmaşık karar verme süreci gerektirdiğinden ve en uygun kararları bulmak için birden fazla paydaşa ihtiyaç duyulduğundan kullanılmıştır. Problemin doğası gereği birçok çelişkili faktör ve belirsiz bilgi nedeniyle, IVq-ROF'lar, DM'lerin daha geniş bir alanda değerlendirme yapmasına izin vererek belirsizliği daha iyi ele almak için kullanılmıştır. Karar verme süreci için kriterlerin ağırlık vektörünü elde etmek amacıyla, modifiye edilmiş IVq-ROF Entropi yöntemi de hesaplamak için geliştirilmiştir.

değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlığının objektif olarak belirlenmesi. Yazara' Entropi ve CODAS'ın birlikte uygulandığı bir çalışma bulunmamaktadır.

atık yönetiminde karar verme problemleri için IVq-ROFSs yönteminin geliştirilmesi. ICT ve IoT sistemleri atık yönetimi için daha fazla ekonomik, sosyal ve çevresel fayda sağladığından, önerilen yöntem IoT teknolojisiye dayalı uygun akıllı atık toplama sisteminin seçimi için ekonomik, sosyal ve çevresel yönlere en iyi şekilde dokunmuştur.

Buna göre en uygun alternatif, sağlıklı, hijyenik ve modern bir şehir tasarımı uygun, en az maliyetli ve çevreye daha az zarar veren RFID, GIS ve GPRS entegrasyonu olarak seçilmiştir. Ayrıca, duyarlılık analizi IVq-ROFSs yöntemi temelinde modifiye Entropi ve CODAS entegrasyonunun geçerliliğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar ve duyarlılık analizindeki tüm senaryolar A1'in en iyi alternatif olmaya devam ederken A4'ün en kötü alternatif olduğunu göstermiştir. Karşılaştırmalı analizler de önerilen yaklaşımın sonuçlarını doğrulamıştır. Çalışma yukarıda vurgulanan katkılara sahip olmakla birlikte, bu çalışmanın gelecekteki çalışmalar için öneri olarak değerlendirilebilecek bazı kısıtları da bulunmaktadır. Bu çalışmanın ilk kısıtlaması DM sayısı ile ilgilidir. Bu sınırlılıkla başa çıkmak için gelecekteki çalışmalar daha fazla DM görüşü alınarak genişletilebilir. Buna ek olarak, kriter ağırlıkları elde edilen sonuçları önemli ölçüde etkilediğinden, önerilen yaklaşım hem öznal hem de nesnel kriter ağırlıklarını dikkate alan daha kapsamlı bir ağırlık tekniği yöntemiyle genişletilebilir. Doğrulama ve geçerleme çalışmalarından elde edilen cesaret verici sonuçlara dayanarak, önerilen yaklaşım ulaştırma gibi farklı ülkelere özgü yönetim sorunlarına yönelik kritik uzun vadeli kararları desteklemek için de uygulanabilir.

enerji, atık yönetimi vb.

Yazar beyanı

Şükran Şeker, Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Doçent olarak görev yapmaktadır. Lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerini Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. Araştırma alanları arasında kamu planlaması ve karar verme, çok kriterli karar verme, bulanık kümeler, risk analizi ve üretim sistemlerinin matematiksel analizi yer almaktadır.

Veri kullanılabilirliği

Veriler talep üzerine kullanıma sunulacaktır.

Referanslar

- [1] A.E. Torkayesh, B. Malmir, M.R. Asadabadi, Sürdürülebilir atık bertaraf teknolojisi selection: the stratified best-worst multi-criteria decision-making method, *Waste Manag.* 122 (2021) 100-112.
- [2] H. Yadav, U. Soni, G. Kumar, Akıllı atık yönetimi için zorlukların analizi a sustainable circular economy in developing countries: a fuzzy DEMATEL study, *Smart Sustain. Built Environ.* (2021), <https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2021-0097>. Basım aşamasında.
- [3] M. Topaloğlu, F. Yarkin & T. Kaya, Tip-2 bulanık çok kriterli karar tekniğine dayalı akıllı şehirler için katı atık toplama sistemi seçimi, *Soft Comput.*, 22 (15)82018), 4879-4890.
- [4] P. Sukholthaman, K. Shrahada, Etkili üretim için teknolojik zorluklar Gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir atık yönetimine yönelik kalkınma: Bangkok, Tayland örneği, *Technol. Soc.* 43 (2015) 231-239.
- [5] Y. Van Fan, C. T Lee, J.S. Lim, J.J. Kleme's, P.T. K Le, Disiplinler arası yaklaşımlar towards smart, resilient and sustainable circular economy, *J. Clean. Prod.* 232 (2019) 1482-1491.
- [6] M. Wang, T. Zhou, Akıllı şehirler arasındaki dinamik ilişkileri anlamak uygulama ve kentsel sürdürülebilirlik, *Technol. Soc.* (2022), 102018.
- [7] S.H. Lin, H. Zhang, J. H Li, C.Z. Ye, J. C Hsieh, Evaluating smart office buildings of from a sustainability perspective: a model hybrid multi-attribute decision- making, *Technol. Soc.* 68 (2022), 101824.
- [8] Y.A. Fatimah, K. Govindan, R. Murningsih, A. SetiawanEndüstri 4.0 tabanlı , Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak sürdürülebilir : Endonezya'da bir vaka çalışması, *J. Clean. Prod.* için akıllı atık yönetim sistemi için döngüsel ekonomi yaklaşımı269 (2020), 122263.
- [9] L. Catarinucci, R. Colella, S.I. Consalvo, L. Patrono, A. Salvatore, I. Sergi, IoT Yeni RFID algılama cihazları ve bulut dayalı odaklı atık yönetim sistemi, teknolojilerine in: 2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), IEEE, 2019, pp. 1-5.
- [10] I. Mashal, O. Alsaryrah, T.Y. Chung, F.C. Yuan, Çok kriterli bir analiz için nesnelerin interneti uygulama öneri sistemi, *Technol. Soc.* 60 (2020), 101216.
- [11] İnternet Erişimi, IoT ile Akıllı Atık Yönetimi, 03 Kasım, 2021, <https://www.softq.com/blog/how-smart-cities-are-leveraging-iot-for-waste-management>, 2021.
- [12] B. Vu'ćijak, S.M. Kurtagi' c, I. Silaj'd'zi' c, seçiminde çok kriterli karar vermeEn iyi katı atık yönetimi senaryosunun : Bosna 'ten bir belediye vaka çalışmasıHersek, *J. Clean. Prod.* 130 (2016) 166-174.
- [13] E. Ayçin, E. S. Kayapınar Kaya, Döngüsel ekonomiyi doğru: engellerin analizi bulanık DEMATEL kullanılarak Türkiye'nin sıfır atık yönetiminin uygulanmasınayöntemi , *Waste Manag. Res.* 39 (8) (2021) 1078-1089.
- [14] M. Wang, T. Zhou, D. Wang, 'deki akıllı şehirlerin evrim süreçlerini izlemekPerformans ve verimliliği değerlendirerek Çin, *Technol. Soc.* 63 (2020), 101353.
- [15] R.D. Kusumastuti, N. Nurmala, J. Rouli, H. Herdiansyah, faktörlerin analiziAkıllı şehir dijital platformunda bilgi arayışı ve paylaşımını etkileyen : Endonezya'dan ampirik kanıtlar, *Technol. Soc.* 68 (2022), 101876.
- [16] M. Keshavarz Ghorabae, E.K. Zavadskas, Z. Turskis, Z. J. Antucheviciene, J. A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making, *Econ. Hesaplama. Ekonomi. Cybern. Stud. Res.* 50 (3) (2016).
- [17] B.P. Joshi, A. Singh, P.K. Bhatt, K.S. Vaisla, Interval valued q-rung orthopair fuzzy sets and their properties, *J. Intell. Fuzzy Syst.* 35 (5) (2018) 5225-5230.
- [18] K. Atanassov, Intuitionistic fuzzy sets, *Fuzzy Set Syst.* 20 (1986) 87-96.
- [19] R.R. Yager, A.M. Abbasov, Pythagorean membership grades, complex numbers and decision making, *Int. J. Intell. Syst.* 28 (2013) 436-452.
- [20] G. Van de Kaa, J. Rezaei, L. Kamp, A. de Winter, Photovoltaic technology selection: a fuzzy MCDM approach, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 32 (2014) 662-670.
- [21] S.C. Onar, B. Öztaysi, I. Ö. Otay, C. Kahraman, Çok uzmanlı rüzgar enerjisi teknolojisi selection using interval-valued intuitionistic fuzzy sets, *Energy* 90 (2015) 274-285.
- [22] M.G. Kharat, S. Murthy, S.J. Kamble, R. D Raut, S.S. Kamble, M.G. Kharat, Bulanık Çevreye duyarlı katı atık için çok kriterli karar analiziarıtma ve bertaraf teknolojisi seçimi , *Technol. Soc.* 57 (2019) 20-29.
- [23] A.E. Torkayesh, S.E. Torkayesh, Bilgi ve iletişim teknolojilerinin değerlendirilmesi G7 ülkelerinde teknoloji geliştirme: entegre bir MCDM yaklaşımı, *Technol. Soc.* 66 (2021), 101670.
- [24] M. Kabak, M. Dag' deviren, Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarının önceliklendirilmesihibrit bir ÇKKV metodolojisi kullanılarak , *Energy Convers. Manag.* 79 (2014) 25-33.
- [25] T. Li, A. Li, X. Guo, Sürdürülebilir kalkınma odaklı kalkınma ve Yenilenebilir enerji endüstrisinin kullanımı - MCDM kapsamlı bir analiziYöntemlerinin , *Energy* 212 (2020), 118694.
- [26] H.C. Lee, C.T. Chang, Sıralama için ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi Tayvan'da yenilenebilir enerji kaynakları, *Renew. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 92 (2018) 883-896.
- [27] M. Nasreddine, H. Eskandari, H. Değerlendirmek için entegre bir MCDM yaklaşımı Tahran'daki toplu taşıma sistemleri, *Transport. Araştırma Pol. Pract.* 106 (2017) 427-439.
- [28] M.T. Lu, C.C. Hsu, J.J. Liou, H.W. Lo, Hibrit bir ÇKKV ve sürdürülebilirlik dengeli Uluslararası için sürdürülebilir performans değerlendirilmesi oluşturmak için puan kartı modelihavaimanları , *J. Air Transport. Manag.* 71 (2018) 9-19.
- [29] S. Samanta, D.K. Jana, Çok öğeli bir taşıma problemi ve Aralık tip-2 bulanık ortamda ÇKKV yöntemi ile ulaşım tercihi, *Neural Comput. Appl.* 31 (2) (2019) 605-617.
- [30] M. Yazdani, S. Hashemkhani Zolfani, E.K. Zavadskas, MCDM'nin yeni entegrasyonu Yeşil tedarikçilerin seçiminde yöntemler ve QFD, *J. Bus. Econ. Manag.* 17 (6) (2016) 1097-1113.
- [31] M. Chand, T. Raj, R. Shankar, A. Agarwal, Risk'e göre en iyi tedarik zincirini seçin MCDM yaklaşımlarını kullanarak Hint endüstrisi ortamı için analiz, *Benchmark Int. J.* 24 (5) (2017) 1400-1413.
- [32] A.T. Sufian, B.M. Abdullah, M. Ateeq, R. Wah, D. Clements, A roadmap towards the akıllı fabrika, içinde: 2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), IEEE, 2019, pp. 978-983.
- [33] L.M. Goulart Coelho, L.C. Lange, H.M. Coelho, Çok kriterli karar verme destek atık yönetimi: mevcut uygulama ve yöntemlerin eleştirel bir incelemesi, *Waste Manag. Res.* 35 (1) (2017) 3-28.
- [34] A. Shahnazari, M. Rafiee, A. Rohani, B.B. Nagar, M.A. Ebrahimi, M. H. Aghkhani, enerji geri kazanım seçmek için etkili faktörlerin belirlenmesiÇok kriterli karar verme kullanılarak kentsel katı atıklardan (MCDM) : termokimyasal teknolojilerin gözden geçirilmesi, *Sustain. Enerji Teknol. t e k n o l o j i l e r i n i Değerlendirmeleri* 40 (2020), 100737.
- [35] M.A. Mir, P.T. Ghazvinei, N.M. N Sulaiman, N.E.A. Basri, S. Saheri, N.Z. Mahmood, H. Aghamohammadi, bir TOPSIS ve VIKOR geliştirilmiş versiyonlarının uygulanmasıOptimize edilmiş belediye katı atığı geliştirmek için çok kriterli bir karar analizinde yönetim modeli, *J. Environ. Manag.* 166 (2016) 109-115.
- [36] X. Peng, Y. Yang, Aralık değerli Pisagor bulanık temel özellikleri, toplama operatörlerinin Int. J. Intell. Syst. 31 (5) (Mayıs 2016) 444-487.
- [37] B. Miltunovi' c, G. Stefanovi' c, M. Dassisti, D. Markovi' c, G. Vu'ckovi' c, Çok kriterli analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model, *Energy* 74 (2014) 190-201.
- [38] S. Jovanovic, S. Savic, N. Jovicic, G. Boskovic, Z. Djordjevic, Çoklu kriterler kullanılarak Kentsel katı atık için en uygun stratejinin seçiminde karar vermeyönetimi , *Waste Manag. Res.* 34 (9) (2016) 884-895.
- [39] H.C. Liu, J.X. You, C. Lu, Y.Z. Chen, Sağlık bakım atıklarının arıtılmasının değerlendirilmesi teknolojilerinin hibrit bir çok kriterli karar verme modeli kullanılarak değerlendirilmesi, *Renew. Sürdürülebilir. Energy Rev.* 41 (2015) 932-942.
- [40] E. Arkan, Z.T. S. İms, it-Kalender, O. Vayvay, Katı atık bertaraf metodolojisi Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Seçim ve 'de Bir UygulamaTürkiye, *J. Clean. Prod.* 142 (2017) 403-412.
- [41] A. Soltani, K. Hewage, B. Reza, R. Sadiq, Çok kriterli sistemlerde çoklu paydaşlar decision-making in the context of municipal solid waste management: a review, *Waste Manag.* 35 (2015) 318-328.
- [42] A.H. Abba, Z.Z. Noor, A. Aliyu, N.I. Medugu, Assessing sustainable municipal solid Johor-Bahru için analitik hiyerarşi süreci ile atık yönetimi faktörleri, in: *Advanced Materials Research* vol. 689, Trans Tech Publications Ltd, 2013, s. 540-545.
- [43] A. Coban, I.F. Ertis, N.A. Cavdaroglu, Municipal solid waste management via multi-kriterleri karar verme yöntemleri: İstanbul, Türkiye'de bir vaka çalışması, *J. Clean. Prod.* 180 (2018) 159-167.
- [44] H. Shi, H.C. Liu, P. Li, X.G. Xu, Türkiye için entegre bir karar verme yaklaşımı sağlık atığı arıtma teknolojilerinin çok paydaşlı bir bakış açısıyla değerlendirilmesi, *Waste Manag.* 59 (2017) 508-517.
- [45] A. Belhadi, S.S. Kamble, S.A.R. Khan, F.E. Touriki, D. Kumar, Bulaşıcı atık Afrika'da COVID-19 salgını sırasında yönetim stratejisi: entegre bir karar sürdürülebilir teknolojilerin seçilmesi için verme çerçevesi, *Environ. Manag.* 66 (6) (2020) 1085-1104.
- [46] S. Ug' urlu, C. Kahraman, Tehlikeli atıklar için bulanık çok kriterli risk değerlendirmesi management: the case of Istanbul, *J. Risk Anal. Crisis Response* 1 (1) (2011).
- [47] C. Yu, Y. Shao, K. Wang, L. Zhangbir grup karar verme sürdürülebilir tedarikçi , Aralık değerli Pisagor altında genişletilmiş TOPSIS kullanan seçimi yaklaşımı bulanık ortam, *Expert Syst. Appl.* 121 (2019) 1-17.
- [48] T. Anagnostopoulos, A. Zaslavsky, K. Kolomvatsos, A. Medvedev, P. Amirian, J. Morley, S. Hadjieftymiades, Atık yönetiminin zorlukları ve fırsatları in IoT-enabled smart cities: a survey, *IEEE Trans. Sürdürülebilirlik. Comput.* 2 (3) (2017) 275-289.
- [49] M. Sharma, S. Joshi, A. Kumar, Türkiye'de e-atık yönetimini etkinleştiren unsurların değerlendirilmesi DEMATEL yöntemi kullanılarak döngüsel ekonomi: Hindistan perspektifi, *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 27 (12) (2010) 13325-13338.
- [50] J.M. Gutierrez, M. Jensen, M. Henius, T. Riazdayalı akıllı atık toplama sistemi, *Konum zekasına , Procedia Comput. Sci.* 61 (2015) 120-127.
- [51] A. Zhang, V.G. Venkatesh, Y. Liu, M. Wan, T. Qu, D. Huisingh, Akıllı telefonların önündeki engeller Çin'de döngüsel bir ekonomi için atık yönetimi, *J. Clean. Prod.* 240 (2019), 118198.

- [52] A.E. Torkayesh, M. Deveci, S.E. Torkayesh, E.B. Tirkolaee, Analyzing failures in tubbi atık yönetim sistemleri için akıllı teknolojilerin benimsenmesi: tip-2 bir nötrosofik tabanlı yaklaşım, *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* (2021) 1-14, 2021.
- [53] R.R. Yager, Generalized orthopair fuzzy sets, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 25 (2017) 1222-1230, <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2016.2604005>.
- [54] X. Peng, L. Liu, Q basamaklı ortopair bulanık kümeler için bilgi ölçüleri, *Int. J. Intell. Syst.* 34 (8) (2019) 1795-1834.
- [55] L.M. Liu, W.Z. Cao, B. Shi, M. Tang, Büyük ölçekli yeşil tedarikçi seçimi yaklaşımı under a Q-rung interval-valued orthopair fuzzy environment, *Processes* 7 (2019) 24.
- [56] J. Wang, Y. Zhou, Aralık değerli dayalı Çok Özellikli grup karar verme q-dereceli ortopair bulanık güç geliştirilmiş maclaurin simetrik ortalama ve operatörüne çevrimiçi eğitim platformu performans değerlendirmesinde uygulanması, *Information* 12 (9) (2021) 372.
- [57] Y. Ju, C. Luo, J. Ma, H. Gao, E.D. Santibanez Gonzalez, A. Wang, Bazı aralık-değerli q basamaklı ortopair ağırlıklı ortalama operatörleri ve bunların uygulamaları çoklu-öznitelikli karar vermeye, *Int. J. Intell. Syst.* 34 (10) (2019) 2584-2606, 2019.
- [58] C. Wang, H.D. Lee, Özel dayalı bir bulanık TOPSIS yaklaşımı geliştirilmesiağırlıklar ve nesnel ağırlıklara, *Expert Syst. Appl.* 36 (2009) 8980-8985.
- [59] C.E. Shannon, W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, The Illinois Üniversitesi, Urbana, 1947.
- [60] A. De Luca, S. Termini, A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of ropyfuzzy ent, *Inf. Control* 20 (1972) 301-312.
- [61] D. Liang, Y. Zhang, W. Cao, q-Rung orthopair bulanık Choquet integral toplama ve heterojen çok kriterli iki taraflı eşleştirme karar uygulanması, *v e r m e d e Int. J. Intell. Syst.* 34 (12) (2019) 3275-3301.
- [62] L. Liu, J. Wu, G. Wei, C. Wei, J. Wang, Y. Wei, Entropi tabanlı GLDS yöntemi için q basamaklı ortopair bulanık bilgi ile bir PPP projesinin sosyal sermaye seçimi, *Entropy* 22 (4) (2020) 414.
- [63] C. Jin, Y. Ran, G. Zhang, G. aralık değerli q-dereceli ortopair bulanık FMEA Takım değiştirme manipülâtörünün risk değerlendirme sürecini iyileştirmek için uygulaması, *Appl. Soft Comput* 104 (2021), 107192.
- [64] N.G. Turan, S. Çoruh, A. Akdemir, O.N. Ergunkentsel katı atık yönetimi, Türkiye'de stratejileri, *Waste Manag.* 29 (1) (2009) 465-469.
- [65] G. Salihoğlu, Industrial waste management in Turkey: current state of hazardous the field and primary challenges, *J. Hazard Mater.* 177 (1-3) (2010) 42-56.
- [66] TÜİ K, Türkiye İ istatistik Kurumu, 2021. İnternet Erişimi, <https://www.tuik.gov.tr>. (Erişim tarihi 4 Eylül 2021).
- [67] Atık Toplama Maliyeti, İnternet Erişimi o4, http://www.cevresehir.kutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/PNAVvqKEjOtl.pdf, 2021. (Erişim tarihi Ocak 2021).
- [68] M.C. Da Silva, A.G. Fassa, C.E. Siqueira, D. Kriebel, D. World at work: Brezilyalı paçavra toplayıcıları, *Occup. Environ. Med.* 62 (10) (2005) 736-740.
- [69] R. Gardiner, P. Hajek, Municipal waste generation, R&D intensity, and economic growth nexus-A case of EU regions, *Waste Manag.* 114 (2020) 124-135.
- [70] W. Ejaz, A. Anpalagan, Akıllı Şehirler için Nesnelerin İnterneti: Genel Bakış ve Temel Zorluklar, Akıllı Şehirler için Nesnelerin İnterneti, 2019, s. 1-15.
- [71] Q. Huang, K. Rodriguez, N. Whetstone, S. Habel, Hızlı Nesnelerin İnterneti (IoT) Enerji verimli binalara yönelik doğru insan sayımı için prototip, *J. Inf. Teknol. Construct.* 24 (2019) 1-13.
- [72] W. He, G. Yan, L. Da Xu, IoT araç veri bulutu hizmetlerinin geliştirilmesiaortamında, *IEEE Trans. Ind. Inf.* 10 (2) (2014) 1587-1595.
- [73] Z. Pang, L. Zheng, J. Tian, S. Kao-Walter, E. Dubrova, Q. Chen, Bir terminal tasarımı Ev içi sağlık cihazlarının ve hizmetlerinin entegrasyonu için çözüm, *Nesnelerin İnternetine Enterprise Inf. Syst.* 9 (1) (2015) 86-116.
- [74] S. Li, L. Da Xu, S. Zhao, The internet of things: a survey, *Inf. Syst. Front* 17 (2) (2015) 243-259.
- [75] N. Alkan, C. Kahraman, COVID-19'a karşı hükümet stratejilerinin değerlendirilmesi pandemic using q-rung orthopair fuzzy TOPSIS method, *Appl. Soft Comput.* 110 (2021), 107653.
- [76] S. Seker, N. AydınKaradeniz için hidrojen üretim tesisi yer seçimi, IVPF ortamında entropi tabanlı TOPSIS kullanarak, *Int. J. Hydrogen Energy* 45 (32) (2020) 15855-15868.