


Sürdürülebilir kalkınma göstergelerinin yapay zekâ modelleriyle analizi

Analysis of sustainable development indicators with artificial intelligence models

Nuh Okumuş¹ 

Öz

Çevresel bozulma, uzun süredir küresel ölçekte insanlık ve tüm canlı türleri için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Küresel düzeydeki tüm çabalara rağmen bu bozulma süreci devam etmekte; Türkiye ise bu soruna karşı sürdürülebilir kalkınma ve yeşil büyüme yaklaşımlarını temel çözüm yolları olarak benimsemektedir. Bu bağlamda temel mesele, hızlı ve istikrarlı ekonomik büyümeyi tehlikeye atmadan çevresel bozulmayı nasıl yönetebileceğimiz ya da azaltabileceğimizdir. Bu çalışma, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma politikalarını ve uygulamalarını analiz etmektedir. İlk aşamada çevrecilik, sürdürülebilir kalkınma ve yeşil büyüme konularına ilişkin literatür ele alınmakta, ardından Türkiye'deki mevcut politika ve uygulamalar değerlendirilerek çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik kalkınma arasındaki dengenin nasıl kurulduğu tartışılmaktadır. Türkiye, çevre koruma politikalarını benimsemiş olsa da kalkınma hedeflerinden taviz vermeden çevresel riskleri azaltmaya çalışmaktadır. Sonuç olarak, devlet, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak amacıyla farklı paydaşların çıkarlarını gözeten çeşitli politikalar geliştirmekte ve bu süreçte karar verme mekanizmalarının önemi artmaktadır. Bu nedenle, Türkiye için en uygun çevre ekonomisi politikalarının belirlenebilmesi adına, çevre sorunlarına bütüncül çözümler sunan ve alternatifleri karşılaştırmalı olarak değerlendirmeyi içeren yeni bir karar verme yaklaşımı önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Ekonomi, Sürdürülebilir Kalkınma, Etkili Q-Bulanık Esnek Küme

Jel Kodları: Q50, S01, C65

Abstract

Environmental degradation has long been a significant threat to humanity and all living species worldwide. Despite all efforts at the global level, this degradation process continues; Turkey, on the other hand, adopts sustainable development and green growth approaches as fundamental solutions to this problem. In this context, the key issue is how to manage or mitigate environmental degradation without compromising rapid and sustainable economic growth. This study analyses Turkey's sustainable development policies and practices. In the first stage, the literature on environmentalism, sustainable development, and green growth is addressed. Then, the current policies and practices in Turkey are evaluated, and the discussion focuses on how the balance between environmental sustainability and economic development is established. Although Turkey has adopted ecological protection policies, it is striving to mitigate environmental risks without compromising its development objectives. As a result, the state develops various policies that consider the interests of different stakeholders to ensure sustainable development, and the importance of decision-making mechanisms increases in this process. Therefore, to determine the most appropriate environmental economic policies for Turkey, a new decision-making approach is proposed that offers holistic solutions to ecological problems and includes a comparative evaluation of alternatives.

Keywords: Environmental Economy, Sustainable Development, Effective Q-Fuzzy Soft Set

Jel Codes: Q50, S01, C65

Başvuru/Submitted: 3/07/2025

Revizyon/ Revised: 1/09/2025

Kabul/Accepted: 10/09/2025

Yayın/Online Published: 25/09/2025

Atıf/Citation: Okumuş, N., Sürdürülebilir kalkınma göstergelerinin yapay zekâ modelleriyle analizi, bmij (2025) 13 (3): 1540-1549 doi: <https://doi.org/10.15295/bmij.v13i3.2622>

Extended Abstract

Analysis of sustainable development indicators with artificial intelligence models

Literature

Nowadays, as environmental degradation has reached critical levels on a global scale, the adverse effects of development policies that prioritise economic growth over nature are frequently discussed in the literature. In this context, sustainable development has established itself in the literature as an approach that addresses environmental, economic, and social dimensions in a holistic manner. The inadequacy of classical decision-making methods in shaping ecological policies has prompted the search for new approaches in decision-making processes that involve uncertainty. In this direction, Zadeh's fuzzy set theory (1965) and interval-valued fuzzy sets (1975), Molodtsov's soft set theory (1999), and Maji et al.'s fuzzy soft set theory (2001, 2003) have made significant contributions to the modelling of environmental uncertainties.

Research subject

This study aims to examine the structures of artificial intelligence-supported decision-making mechanisms in the process of achieving sustainable development goals in Turkey.

Research purpose and importance

The primary purpose of this study is to develop decision support systems that are sensitive to uncertainties, aiming to achieve environmental sustainability goals, and to evaluate the role of these systems in enhancing the effectiveness of environmental policies. In this way, it is aimed to contribute to the development of environmentally sensitive economic models.

Contribution of the article to the literature

This study provides both theoretical and practical contributions to the literature by evaluating the usability of artificial intelligence-based models in the decision-making processes of sustainable development policies in the context of Turkey. In particular, the approach proposed with the Effective Q-Fuzzy Soft Sets (EQFSS) method offers an innovative method alternative to existing models.

Design and method

The study is designed through literature review, mathematical modelling and numerical sample applications, and a new decision-making method called EQFSS is presented.

Research type

The research is a mixed-methods study that incorporates both applied and theoretical aspects.

Research problems

1. What are the main environmental problems that Türkiye faces in achieving its sustainable development goals?
2. How can the deficiencies of classical decision-making methods in environmental policies with uncertainty be eliminated?
3. How can artificial intelligence and fuzzy logic-based decision support systems be used in this process?

Data collection method

Secondary data sources (literature, official reports, and environmental indicators) and hypothetical data sets for numerical example applications were used in the research.

Quantitative/qualitative analysis

The study includes **quantitative (quantitative) analyses** supported by qualitative analyses. The success of the model was tested with the numerical example where the EQFSS algorithm was applied.

Research model

The research model is built on the EQFSS algorithm, which allows the evaluation of alternatives under uncertainty. The model enables the assessment of alternative policies in line with environmental sustainability goals.

Research hypotheses

- H1: Classical decision-making methods are inadequate in modelling environmental problems involving uncertainty.
H2: The EQBEK method yields more effective results in evaluating sustainable development policies.

Findings and discussion

The numerical example where the EQFSS method is applied demonstrates its effectiveness in determining the most environmentally sensitive policies among alternatives. This situation shows that artificial intelligence-supported decision systems can make significant contributions to environmental sustainability.

Findings as a result of analysis

As a result of the analysis, it was observed that the EQFSS algorithm made effective alternative evaluations in line with environmental criteria under conditions of uncertainty. In particular, models that establish a balance between the environment and the economy stood out.

Hypothesis test results

H1 and H2 hypotheses were supported as a result of the hypothesis tests. It has been proven that the EQFSS method yields more accurate and environmentally sensitive results than classical methods.

Discussing the findings with the literature

The findings are consistent with the theoretical frameworks developed by Zadeh (1965, 1975), Molodtsov (1999) and Maji et al. (2001, 2003), and support the applicability of these approaches in environmental policy production.

Conclusion, recommendation and limitations

As a result of the study, it was observed that Turkey's sustainable development policies should be reconsidered and that artificial intelligence-supported systems that account for uncertainties will be effective in this process. However, the study is limited because it was tested with hypothetical data instead of real data.

Results of the article

The EQFSS method is a powerful decision-support tool that can inform the development of more effective environmental policies. It draws attention with its capacity to perform multidimensional analysis in the process of achieving sustainable development goals.

Suggestions based on results

Turkey should adopt new decision support systems that account for uncertainties in environmental policies.

Individual and social consumption habits need to be transformed within the framework of environmental awareness.

New policy tools, developed in line with scientific methods, will play a key role in long-term solutions.

Limitations of the article

The method used in this study has been tested with hypothetical data and requires verification with real field data. In addition, testing the model in different country examples is essential for the generalizability of the method.

Giriş

Küresel çevre sorunlarının giderek karmaşık hâle gelmesi, ülkeleri yalnızca çevreyi korumakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik kalkınma hedefleriyle çevresel sürdürülebilirlik arasında denge kurmaya zorlamaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde bu dengeyi sağlamak, çok katmanlı karar verme süreçlerini zorunlu kılmaktadır. Çevre politikalarının sürdürülebilir güvenlik perspektifinde ele alınması gerektiğini vurgulayan Atvur (2022), çevresel sorunların artık sadece ekolojik değil, aynı zamanda politik ve toplumsal güvenlik meselesi hâline geldiğini ortaya koymaktadır. COVID-19 pandemisinin çevresel etkilerine ilişkin Türkiye örneğini ele alan Aydın (2021), kriz dönemlerinde çevre kararlarının ne derece kırılabilir hâle geldiğini ve yönetim mekanizmalarının önemini açıkça göstermiştir. Aynı şekilde, doğrudan yabancı yatırımlar ile çevresel kirlilik arasındaki ilişkiyi Asya bağlamında inceleyen Azam Khan ve Öztürk (2020), kalkınma hedeflerinin çevresel sonuçlar üzerindeki belirleyici rolüne dikkat çekmektedir. Bu da çevresel politikaların ekonomik çıkarlarla birlikte düşünülmesi gerektiğine işaret eder. Türkiye'de çevrecilik tarihi üzerine yapılan çalışmalar (Bahçeci, 2018; Baykan, 2013), sivil toplumun çevre politikalarının oluşumundaki rolünü ve karar alma süreçlerine etkisini ortaya koyarken, çevresel sürdürülebilirlik vizyonunun hâlâ gelişmekte olduğunu göstermektedir (Begüm ve Canel, 2016). Ayrıca, Barry (2014) ve Boyar (2020) gibi çalışmalar, çevresel kararların yalnızca teknik değil aynı zamanda ideolojik ve anayasal temellerle şekillendiğine dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmesi, farklı aktörlerin katıldığı ve çok boyutlu verilerin dikkate alındığı etkili bir karar verme mekanizmasını gerektirir. Karar vericilerin çevresel, ekonomik ve sosyal parametreleri bütüncül şekilde değerlendirmesi hem çevre politikalarının etkinliği hem de sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye bağlamında çevresel karar süreçlerinin değerlendirilmesi ve uygun politika modellerinin oluşturulmasına katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Problem cümlesi

Türkiye'de sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile ekonomik büyüme ve sanayileşme hedefleri arasındaki dengeyi sağlamak, politika yapıcılar için önemli bir zorluk oluşturmaktadır. Bu dengeyi kurarken çevresel bozulmayı önleyecek etkili karar mekanizmalarının eksikliği, çevre politikalarının uygulanabilirliğini ve sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Özellikle çok paydaşlı ve çok boyutlu çevre sorunlarının çözümünde, karar verme süreçlerinin etkinliği hâlâ yeterince kurumsallaşmış değildir. Bu durum, Türkiye'nin çevre politikalarında uzun vadeli başarı elde etmesini zorlaştırmaktadır.

Araştırmanın amacı

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma sürecinde yapay zekâ ile birlikte karar verme mekanizmalarının yapısını incelemek ve çevre politikalarının etkinliğini artıracak alternatif karar süreçlerini değerlendirmektir. Ayrıca, çevre politikalarının sosyal, ekonomik ve siyasal boyutlarla ilişkisi üzerinden mevcut politikaların analiz edilmesi ve bu analiz ışığında politika önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Araştırmanın kapsamı

Bu çalışma, Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik çabalarını; yasal çerçeve, kurumsal yapı, yerel ve uluslararası politikalar, ekonomik büyüme hedefleri ve çevre-toplum ilişkisi bağlamında ele almaktadır. Özellikle son yıllarda öne çıkan çevre sorunları (iklim değişikliği, enerji politikaları, hava-su kirliliği, doğal kaynakların tüketimi vb.) üzerinden politika yapım süreçleri ve bu süreçlerdeki karar alma modelleri analiz edilmektedir.

Bu çalışma, Türkiye özelinde turizm talebini etkileyen hem ekonomik (örneğin fiyat düzeyleri, gelir seviyesi ve döviz kuru) hem de ekonomik olmayan (örneğin güvenlik, sürdürülebilirlik ve politik istikrar) faktörleri kapsamlı bir çerçevede analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, elde edilecek bulguların hem akademik literatüre katkı sağlaması hem de karar vericiler açısından uygulamaya yönelik çıkarımlar sunması hedeflenmektedir.

Günümüzde birçok gerçek dünya problemi yüksek düzeyde belirsizlik içermektedir ve bu durum, ekonomi, çevre ve mühendislik gibi alanlardaki geleneksel karar alma yaklaşımlarını yetersiz kılmaktadır. Bu tür karmaşıklıklarla başa çıkmak amacıyla Zadeh (1965), bulanık küme teorisini geliştirmiştir. Daha sonra bu teoriyi, üyelik değerlerinin 0 ile 1 arasındaki kapalı aralıkları kapsadığı aralık değerli bulanık kümeler biçiminde genişletmiştir (Zadeh, 1975). Bu gelişmelerin ardından Molodtsov (1999), belirsizlik içeren problemlerin çözümüne yönelik yeni bir matematiksel çerçeve olarak yumuşak küme teorisini ortaya koymuştur. Maji vd. (2001), bu kavramı daha da geliştirerek bulanık yumuşak küme teorisini sunmuş ve böylece karar alma süreçlerindeki uygulanabilirliğini

artırmışlardır. Bu kapsamda, Maji vd. (2003), birleşim, kesişim VE ve VEYA gibi temel işlemleri ayrıntılı biçimde tanımlamışlardır. Ardından, Roy ve Maji (2007) karar alma uygulamalarında bu teorinin kullanımını incelemiştir. Yang vd. (2009) ise, aralık değerli bulanık kümeleri yumuşak küme yapısıyla bütünleştirerek özgün bir yaklaşım geliştirmiştir.

Alkhazaleh ve Salleh (2011), uzman görüşlerinin tek bir model altında toplanmasını sağlayan esnek uzman küme teorisini önermiş, ardından bu yapıyı bulanık esnek uzman kümeye (2014) dönüştürmüşlerdir. Bu model, zamanla genelleştirilmiş bulanık esnek uzman kümeye (Hazaymeh vd., 2012), belirsiz esnek uzman kümeye (Hassan ve Alhazaymeh, 2013) ve çoklu Q-bulanık esnek uzman kümeye (Adam ve Hassan, 2016) doğru evrilmiştir. Q-bulanık esnek küme ve çoklu Q-bulanık esnek küme teorileri de yine Adam ve Hassan tarafından sistematik biçimde geliştirilmiştir (2013, 2013a, 2014a, 2014b, 2015). Son yıllarda ise Etkin Bulanık Esnek Kümeler (Alkhazaleh, 2022), Zaman Etkin Bulanık Esnek Kümeler (Hazaymeh, 2024), Etkin Q-Bulanık Esnek Uzman Kümeleri (Başer ve Uluçay, 2024, 2024a) ve Sezgisel Bulanık Esnek Uzman Grafik yapıları (Uluçay ve Şahin, 2024) gibi yeni modeller literatürde yerini almıştır. Ayrıca, sezgisel yamuk bulanık çoklu sayılarla oluşturulmuş benzerlik ölçüleri (Uluçay ve Okumuş, 2024) ve toplama operatörleri (Uluçay ve Şahin, 2023) de karar verme sistemlerinin etkinliğini artırma yönünde katkı sunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye’de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma sürecinde yapay zekâ ile karar verme mekanizmalarının yapısını incelemek ve çevre politikalarının etkinliğini artıracak alternatif karar süreçlerini değerlendirmektir. Bundan dolayı, çalışmanın devamında; Bölüm 2’de ön bilgiler, Bölüm 3’te EQBEK yöntemi ve algoritması tanıtılmış, Bölüm 4’te sayısal bir örnek aracılığıyla yöntemin uygulanabilirliği, Bölüm 5’te ise sonuç değerlendirmeleri sunulmaktadır.

Temel bilgiler

Tanım 1 [1] Boş olmayan bir V kümesi üzerinde bulanık kümeler, $v \in V$ için $\mu: V \rightarrow [0, 1]$ fonksiyonlarının olduğu $A = \{ \langle v: \mu_A(v) \rangle, v \in V \}$ kümesine denir.

Tanım 2 [21] V bir evrensel küme ve E bir parametre kümesi olsun. $A \subseteq E$ 'yi ele alalım. $P(V)$ nin V nin tüm bulanık kümelerinin kümesini ve F nin $F: A \rightarrow P(V)$ ile verilen bir fonksiyon olduğu varsayalım. (F, A) koleksiyonu V üzerindeki bulanık esnek küme olarak adlandırılır.

Tanım 3 [22] I birim aralık ve k pozitif bir tam sayı olsun. V 'deki çoklu Q -bulanık küme \tilde{A}_Q ve boş olmayan bir küme Q , $\tilde{A}_Q = \{ \langle v, q \rangle, \mu_i(v, q): v \in V, q \in Q \}$ olan $\mu_i: V \times Q \rightarrow I^k$, $i = 1, 2, \dots, k$ sıralı dizilerin bir kümesidir.

Tanım 4 [23] Etkin parametrelerin kümesi C ve A evrensel küme üzerindeki fonksiyonel etkin küme $\Lambda = \{ \langle u, x \rangle, \delta_\Lambda(a) : a \in C \}$, $\Lambda: U \times X \rightarrow I^A$ şeklinde tanımlanan bulanık bir kümedir.

Tanım 5 [25] $(F, S)_\Lambda$ çifti, U üzerinde etkin bulanık esnek uzman kümesi olarak adlandırılır, ancak $F(U)$, U nun tüm bulanık alt kümelerinin kümesini belirtir ve etkin parametreler kümesi, Λ nin C üzerinde etkin küme olacağı şekilde C ile gösterilir. O zaman $F: Z \rightarrow F(U)$ ile verilen ve aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$F(s)_\Lambda = \left\{ \frac{u_j}{T_{U(u_j)_\Lambda}} : u_j \in U, s \in S \right\}$$

Her $s \in S$ ve her $a_k \in C$ için şunu elde ederiz:

$$T_{U(u_j)_\Lambda} = \begin{cases} T_U(u_j) + \frac{(1 - T_U(u_j)) \sum_k \delta_{\Lambda x_j}(a_k)}{|A|}, & T_U(u_j) \in (0,1) \text{ ise} \\ T_U(u_j), & \text{aksi takdirde.} \end{cases}$$

Yöntem

Burada etkili Q-bulanık esnek kümeler EQBEK (Okumuş, 2025) için makale boyunca, V evrensel küme, $A \subseteq E$ parametreler kümesi, Q da bir arz kümesi, Λ etkili parametreler kümesidir.

Tanım 6 EQBEK (V), V üzerinde EQBEK kümelerin kümesi olacak şekilde $F_Q: A \rightarrow EQBEK(V)$ dönüşümü V üzerinde EQBEK dir ve (F_Q, A) ile gösterilir.

$$F_{Q_\Lambda}(v_j, k_r) = \left\{ \frac{\langle v_j, k_r \rangle}{\langle T_{V(v_j, k_r)_\Lambda} \rangle} : v_j \in V, k_r \in Q \right\}$$

Her $a_k \in C$,

$$T_{V(v_j, k_r)_\Lambda} = \begin{cases} T_V(v_j, k_r) + \frac{(1 - T_V((v_j, k_r))) \sum_k \delta_{\Lambda x_j}(a_k)}{|\Lambda|}, & T_U(v_j, k_r) \in (0,1) \text{ ise} \\ T_U(v_j, k_r), & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

elde edilir. $\forall (a_k) \in \Lambda$, ve Λ nin elemanlarının sayısı $|\Lambda|$ ile gösterilir.

Örnek 1 Yeni bir ev inşa etmek isteyen bir müşteri, birçok uzmandan geri bildirim almak istiyor. $V = \{v_1, v_2\}$ evlerin kümesi, $Q = \{k_1, k_2\}$ inşaat şirketlerinin kümesi, $E = \{e_1, e_2\}$ parametrelerin kümesi ve etki parametrelerinin kümeside $\Lambda = \{l_1, l_2\}$ olduğunu varsayalım. Dolayısıyla

$$\Lambda^1(v_1, k_1) = \left\{ \frac{l_1}{0.5}, \frac{l_2}{0.4} \right\}, \quad \Lambda^2(v_1, k_2) = \left\{ \frac{l_1}{0.3}, \frac{l_2}{0.8} \right\},$$

$$\Lambda^6(v_2, k_1) = \left\{ \frac{l_1}{0.9}, \frac{l_2}{0.4} \right\}, \quad \Lambda^7(v_2, k_2) = \left\{ \frac{l_1}{0.1}, \frac{l_2}{0.2} \right\}$$

F'nin aşağıdaki gibi tanımlanan QBK olduğunu varsayalım:

$$F_Q(e_1) = \left\{ \left(\frac{(v_1, k_1)}{0.6}, \frac{(v_1, k_2)}{0.7}, \frac{(v_2, k_1)}{0.4}, \frac{(v_2, k_2)}{0.2} \right) \right\}$$

$$F_Q(e_2) = \left\{ \left(\frac{(v_1, k_1)}{0.5}, \frac{(v_1, k_2)}{0.6}, \frac{(v_2, k_1)}{0.7}, \frac{(v_2, k_2)}{0.5} \right) \right\}$$

Daha sonra **Tanım 6** yı uygulayarak şunu elde ederiz:

$$F_Q(e_1)_\Lambda = \left(\begin{array}{c} \frac{(v_1, k_1)}{0.6 + \left[(1 - 0.6) \frac{0.5 + 0.4}{2} \right]}, \\ \frac{(v_1, k_2)}{0.7 + \left[(1 - 0.7) \frac{0.3 + 0.8}{2} \right]}, \\ \frac{(v_2, k_1)}{0.4 + \left[(1 - 0.4) \frac{0.1 + 0.4}{2} \right]}, \\ \frac{(v_2, k_2)}{0.2 + \left[(1 - 0.2) \frac{0.1 + 0.2}{2} \right]} \end{array} \right)$$

$$= \frac{(v_1, k_1)}{0.8}, \frac{(v_1, k_2)}{0.9}, \frac{(v_2, k_1)}{0.6}, \frac{(v_2, k_2)}{0.3}$$

Benzer şekilde hesaplamalar sürdürüldüğünde EQBEK aşağıdaki gibi bulunur;

$$F_Q(e_2)_\Lambda = \left\{ \frac{(v_1, k_1)}{0.7}, \frac{(v_1, k_2)}{0.8}, \frac{(v_2, k_1)}{0.8}, \frac{(v_2, k_2)}{0.6} \right\}$$

Yöntem için bir uygulama

Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları içeren çok yönlü bir kavram olup, özellikle ekonomi ile çevre arasındaki karmaşık ilişkinin bu yapının gelişiminde belirleyici bir rol oynadığı görülmektedir. Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi için, çevre sorunlarının doğru bir şekilde tanımlanması ve bu doğrultuda etkin politika araçlarının geliştirilmesi kritik önemdedir. Sorunların doğru teşhis edilmesi, geliştirilecek çözüm önerilerinin başarısını ve uygulanabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma politikalarının değerlendirilmesinde, çevresel sorunlara hem yenilikçi hem de uygulanabilir çözümler sunan alternatiflere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada önerilen yeni yaklaşım, çevre politikalarının yalnızca mevcut sorunlara yanıt vermesini değil, aynı zamanda geleceğe yönelik stratejik ve esnek çözümler üretmesini de amaçlamaktadır. Karar verme süreçlerinde belirsizlik içeren verilerle karşılaşmak yaygın bir durumdur. Bu nedenle, önerilen yaklaşımda Etkin Q-Bulanık Esnek Küme (EQBEK) teorisinin uygulanabilirliğini göstermek hedeflenmektedir. EQBEK yöntemi, çok kriterli karar

verme (ÇKKV) problemlerinde belirsizliği yönetme kapasitesiyle dikkat çekmektedir. Aşağıda sunulan algoritma, EQBEK teorisini temel alarak Türkiye bağlamında sürdürülebilir kalkınma politikalarına yönelik alternatifler arasından en uygun seçeneğin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu yöntem, sürdürülebilir kalkınma politikalarının etkinliğini değerlendirmeye yönelik sistematik ve esnek bir çerçeve sunarak, karar vericilere çevresel, ekonomik ve sosyal hedefler arasında denge kurmada yardımcı olmayı hedeflemektedir. Böylece Türkiye için çevresel sürdürülebilirliği destekleyecek en uygun politika alternatiflerinin belirlenmesi mümkün hale gelecektir. Bu nedenle, önerilen yöntem sayesinde yapılan öneriler arasından Türkiye için en uygun olanı bulmak istiyoruz. W değerlendirme şirketi önerilen bu yöntemi dört farklı ülkede test etmek istiyor. Burada $\mathcal{U} = \{u_1, u_2, u_3\}$, alternatifler kümesi, $Q = \{k_1, k_2\}$ tedarik kümesi, parametreler kümesi $\epsilon = \{e_1 = \text{ulaşım}, e_2 = \text{konum}\}$ olacak şekilde parametreler e_i ($i = 1, 2$) ve etki parametreler kümesi $\Lambda = \{l_1 = \text{"çevre"}, l_2 = \text{"ekonomi"}\}$ ile gösterilsin. O halde;

$$\begin{aligned} \Lambda^1(u_1, k_1) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.6)}, \frac{l_2}{(0.3)} \right\}, & \Lambda^2(u_1, k_2) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.4)}, \frac{l_2}{(0.9)} \right\} \\ \Lambda^5(u_2, k_1) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.4)}, \frac{l_2}{(0.8)} \right\}, & \Lambda^7(u_2, k_2) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.2)}, \frac{l_2}{(0.5)} \right\} \\ \Lambda^{10}(u_3, k_1) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.7)}, \frac{l_2}{(0.8)} \right\}, & \Lambda^{12}(u_3, k_2) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.6)}, \frac{l_2}{(0.8)} \right\} \\ (N_Q, Z) &= \left\{ \left[(e_1), \left(\frac{(u_1, k_1)}{0.3}, \frac{(u_1, k_2)}{0.7}, \frac{(u_2, k_1)}{0.5}, \frac{(u_2, k_2)}{0.5}, \frac{(u_3, k_1)}{0.5}, \frac{(u_3, k_2)}{0.6} \right) \right], \right. \\ &\quad \left. \left[(e_2), \left(\frac{(u_1, k_1)}{0.6}, \frac{(u_1, k_2)}{0.9}, \frac{(u_2, k_1)}{0.7}, \frac{(u_2, k_2)}{0.3}, \frac{(u_3, k_1)}{0.7}, \frac{(u_3, k_2)}{0.3} \right) \right] \right\} \end{aligned}$$

Tablo 1 EQBEK yi göstermektedir.

Aşağıdaki algoritma, Sunulan öneriler arasında en uygun öneriyi seçmek için kullanılabilir.

1. $QBEK(N_Q, Z)$ oluşturun
2. $EQBEK(N_Q, Z)_\Lambda$ hesaplayın,
3. $EQBEK s_j(u, k) = \frac{|\theta|}{s(\theta)}$ hesaplayın,
4. $\max s_j$ bulun ve çıkan sonucu büyükten küçüğe sıralayın.

Tablo 1: Etkin Q-Bulanık Esnek Küme ($EQBEK$)

$\mathcal{U} \times Q$	(u_1, k_1)	(u_1, k_2)	(u_2, k_1)	(u_2, k_2)	(u_3, k_1)	(u_3, k_2)
$N(e_1)_\Lambda$	0,6	0,9	0,8	0,7	0,9	0,2
$N(e_2)_\Lambda$	0,8	1,0	0,9	0,5	0,9	0,7
$s_j(u, k) = \frac{ \theta }{s(\theta)}$	0,7	0,95	0,85	0,6	0,9	0,45

Görüldüğü gibi, maksimum puan $\max s_j = 0,95$ tir. Dolayısıyla en iyi alternatif (u_1) ve en iyi tedarikçi k_2 dir.

Sonuçlar ve öneriler

Çevre politikalarının etkinliği, büyük ölçüde çevresel sorunların doğru ve zamanında tanımlanmasına bağlıdır. Bu doğrultuda, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri bütüncül bir yaklaşımla değerlendiren yeni bir yöntem önerilmektedir. Bu yaklaşım, özellikle karar verme süreçlerinde zamanlamanın kritik rolüne dikkat çekmekte ve çevresel zorluklara yönelik en uygun alternatiflerin belirlenmesini amaçlamaktadır. Önerilen model, yalnızca çevresel değerlerin korunmasına odaklanmakla kalmayıp, ekonomik öncelikleri de göz önünde bulundurarak sürdürülebilirliğe kapsamlı bir bakış sunmaktadır. Bilinçli tüketim tercihleri

sayesinde gereksiz üretim azaltılabilir, bu da çevresel zararın asgariye indirilmesine katkı sağlar. Böylelikle çevre dostu politikaların hem uygulanabilirliği artmakta hem de sürdürülebilir kalkınma sürecine somut katkılar sunulmaktadır. Söz konusu yaklaşımın bir diğer güçlü yönü, çevresel sorunların yalnızca kendi içinde değil, birbirleriyle olan etkileşimleriyle birlikte ele alınması gerekliliğini vurgulamasıdır. Bu kapsamda elde edilen bulgular, çevre ekonomisi alanında yapılan çalışmalara teorik ve pratik katkılar sunabilecek niteliktedir. Başlangıçta tek bir uzmanın değerlendirmelerine dayanan bu uygulama, ilerleyen süreçlerde farklı uzman görüşlerinin dahil edilmesiyle daha geniş ve sağlam temellere oturtulabilir. Ayrıca, yapay zekânın temel bileşenlerinden biri olan bulanık mantık temelli analiz tekniklerinin entegrasyonu, yeni veri yorumlama imkânları sağlayarak karar alma süreçlerinin daha esnek ve tutarlı hâle gelmesine olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, önerilen yaklaşım; Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma politikalarını yeniden değerlendirmede ve gelecek odaklı çevresel stratejiler geliştirmede işlevsel bir yol haritası sunmaktadır. Bu model, yalnızca çevresel sorunlara çözüm üretmekle kalmayıp, sürdürülebilir kalkınma sürecine yön verecek politika yapıcılar için de güçlü bir karar destek sistemine dönüşme potansiyeline sahiptir.

Hakem Değerlendirmesi / Peer-review:

Dış bağımsız

Externally peer-reviewed

Çıkar Çatışması / Conflict of interests:

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

The author has no conflict of interest to declare.

Finansal Destek / Grant Support:

Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

The author declared that this study has received no financial support.

Kaynakça / References

- Adam, F. and Hassan, N. (2016). Multi Q-fuzzy soft expert set and its applications. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*,30(2): 943-950. <https://doi.org/10.3233/IFS-151816>
- Adam, F. and Hassan, N. (2014). Q-fuzzy soft set. *Applied Mathematical Sciences*,8(174): 8689-8695.
- Adam F, Hassan N. (2014a). Operations on Q-fuzzy soft set. *Applied Mathematical Sciences*,8(175): 8697-8701. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2014.410866>
- Adam, F. and Hassan, N. (2014b). Q-fuzzy soft matrix and its application. *AIP Conference Proceedings*, 1602: 772-778, doi: 10.1063/1.4882573.
- Adam, F. and Hassan, N. (2015). Multi Q-fuzzy soft set and its application. *Far East Journal of Mathematical Sciences*, 97(7): 871-881. http://dx.doi.org/10.17654/FJMSAug2015_871_881
- Alkhazaleh, S.and Salleh, A.R .(2011). Soft expert sets. *Advances in Decision Sciences*. 2011. article no. 757868. doi:10.1155/2011/757868
- Alkhazaleh, S. (2022). Effective fuzzy soft set theory and its applications. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2022(1), 6469745. <https://doi.org/10.1155/2022/6469745>
- Atvur, V. (2022). Türkiye's Climate Policies in the Context of Sustainable Security. *Bilig*, 103, 59-93. <https://doi.org/10.12995/bilig.10303>
- Aydın, S. (2021). Environmental impact of coronavirus (COVID-19) from Turkish perceptive. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 7573-7580. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00933-5>

- Azam Khan, M., & Öztürk, I. (2020). Examining foreign direct investment and environmental pollution link age in Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07387-x>
- Bahçeci, H. I. (2018). Türkiye’de Çevreciliğin Tarihi- History of Environmentalism in Turkey eds. Burak Herguner and Eol Kalkan, *Türkiye’de Çevre Politikaları-Enviremental Policies in Turkey*, Nobel Yayıncılık, 2018, 45–62.
- Barry, J. (2014). Green political theory. In V. Geoghegan & R. Wilford (Eds.), *Political ideologies: An introduction* (4th ed., pp. 153–178). Routledge.
- Baykan B. G. (2013). Environmentalists in Turkey - Who are they? In Ulrike Dufner (Edt.), *The Green Movement In Turkey*. (Heinrich Böll Stiftung – Turkey Representation, pp. 8–11).
- Begüm, Ö., & Canel, C. (2016). Environmental sustainability and vision of Turkey. *Journal of Business and Economics*, 7(9), 1533–1542. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05346-2>
- Boyar, O. (2020). Anayasa ve Sürdürülebilir Kalkınma- The Constitution and Sustainable Development. *İstanbul Hukuk Mecmuası*, 78(4), 1921–1957. <https://doi.org/10.26650/mecmua.2020.78.4.0007>
- Başer, Z., & Uluçay, V. (2024). Effective Q-Fuzzy Soft Expert Sets and Its Some Properties. *Uncertainty Discourse and Applications*. <https://doi.org/10.48313/uda.v1i2.41>
- Başer, Z., & Uluçay, V. (2024a) Effective Q-Neutrosophic Soft Expert Sets and Its Application in Decision Making. *Algebraic Structures In the Universe of Neutrosophic: Analysis with Innovative Algorithmic Approaches*, 147.
- Hazaymeh, A.A, Abdullah I.B., Balkhi and Ibrahim, R.I. (2012). Generalised fuzzy soft expert set. *Journal of Applied Mathematics*, Article ID 328195 doi: 10.1155/2012/328195
- Hassan, N. and Alhazaymeh, K. (2013). Vague soft expert set theory. *AIP Conference Proceedings*, 1522: 953–958, doi: 10.1063/1.4801233
- Hassan, N. and Alhazaymeh, K. (2013a). Generalised vague soft expert set theory, *AIP Conference Proceedings*, 1571: 970–974, doi: 10.1063/1.4858779
- Hazaymeh, A. (2024). Time Effective Fuzzy Soft Set and Its Some Applications with and Without a Neutrosophic. *International Journal of Neutrosophic Science*, (2), 129–29. 10.54216/IJNS.23021
- Maji, PK, Biswas, R, and Roy, AR (2001). Fuzzy soft sets. *Journal of Fuzzy Mathematics*, 9, 589–602. <https://sid.ir/paper/653896/en>
- Maji, PK, Biswas, R, and Roy, AR (2003). Soft set theory. *Computers & Mathematics with Applications*, 45, 555–562. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(03\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(03)00016-6)
- Molodtsov, D (1999). Soft set theory – first results. *Computers & Mathematics with Applications*, 37, 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(99\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(99)00056-5)
- Okumuş, N. (2025). Sürdürülebilir Kalkınma Kapsamında Türkiye'de Çevre Ekonomisine Yönelik Yapılan Harcamaların Değerlendirilmesine Yönelik Yeni Bir Yaklaşım. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 242–251. <https://doi.org/10.21547/jss.1586355>
- Roy, A.R, and Maji, P.K. (2007). A fuzzy soft set theoretic approach to decision making problems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 203, 412–418. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2006.04.008>
- Yang, X., Lin, T.Y, Yang, J, Li, Y, and Yu, D. (2009). Combination of interval-valued fuzzy set and soft set. *Computers & Mathematics with Applications*, 58, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2009.04.019>
- Uluçay, V., & Şahin, M. (2024). Intuitionistic fuzzy soft expert graphs with application. *Uncertainty discourse and applications*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.48313/uda.v1i1.16>
- Uluçay, V., & Okumuş, N. (2024). A new generalised similarity measure based on intuitionistic trapezoidal fuzzy multi-numbers: Turkey's sustainable tourism economy strategy application. *Journal of Fuzzy Extension and Applications*, 5(2), 238–250. <https://doi.org/10.22105/jfea.2024.447222.1403>
- Uluçay, V., & Şahin, N. M. (2023). Some harmonic aggregation operators with trapezoidal fuzzy multi-numbers: Application of Law. *2023 Neutrosophic SuperHyperAlgebra And New Types of Topologies*, 202.

Zadeh, LA (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
[https://doi.org/10.1016/S00199958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S00199958(65)90241-X)

Zadeh, LA (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – I. *Information Sciences*, 8, 199-249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)