



ENTROPİ VE KÜMELEME TABANLI YENİ BİR HAKEM DEĞERLENDİRME SÜRECİ VE KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ

Seda Nur BUDAK^{1*}, Kumru Didem ATALAY², Mehmet KABAK³, Tacettin Sercan PEKİN⁴

¹The Scientific and Technological Research Council of Türkiye, 06100 Kavaklıdere, Ankara, Türkiye

²Baskent University, Department of Industrial Engineering, 06790 Etimesgut, Ankara, Türkiye

³Gazi University, Department of Industrial Engineering, 06570 Maltepe, Ankara, Türkiye

⁴OSTİM Technical University, Department of Management Information Systems, 06374 Ostim, Ankara, Türkiye

Özet: Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) projelerinin değerlendirme süreçlerinin karmaşıklığı ve eksiklikleri, projelerin değerlendirilmesinde tutarlılık ve izlenebilirlik sorunlarına yol açmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'deki Ar-Ge projelerinin değerlendirme süreçlerinde karşılaşılan temel sorunları ele alarak, nesnel, tutarlı ve uygulanabilirliği yüksek bir karar destek sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, projelerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler için literatür detaylı bir şekilde incelenmiş, uzmanların görüşleri alınmış, entropi yöntemi ile önem derecelerine göre sıralanmış ve değerlendirilmede daha etkili olduğu görülen kriterler belirlenmiştir. Böylece, kriter sayısı 247'den 96'ya indirilmiş ve değerlendiriciye kolaylık sağlanarak daha etkili bir değerlendirme seti oluşturulmuştur. Geliştirilen karar destek sistemi, projelerin kapsamlı bir analizine olanak tanımakta ve hakemlerden yürütme kurulu üyelerine kadar tüm paydaşların daha şeffaf bir platform üzerinde değerlendirme yapmasını sağlamaktadır. Karar destek sistemi ile elde edilen hakem puanlarına bağlı olarak projeler, K-ortalama kümeleme algoritması ile dört ana gruba ayrılmıştır. Bu platform, değerlendirme süreçlerinin hızlandırılmasını ve karar vericilerin iş yükünün %31 ila %39 oranında azaltılmasını sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, Ar-Ge projelerinin yenilikçi yönleri, ekonomik ve ulusal katkıları, proje planları ve teknik altyapıları gibi boyutlarda daha kapsamlı ve objektif bir değerlendirme yapılmasını mümkün kılmıştır. Yeni sistem, mevcut değerlendirme süreçlerinin eksikliklerini gidererek daha yapılandırılmış ve bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Geliştirilen bu sistem, gelecekte farklı Ar-Ge programlarına entegre edilerek ülkenin Ar-Ge potansiyelini ve inovasyon kapasitesini en üst seviyeye çıkarmayı hedeflemektedir.

Anahtar kelimeler: Ar-Ge projeleri değerlendirme süreci, Çok kriterli karar verme, Entropi, K-ortalama kümeleme, Karar destek sistemi

A Novel Reviewer Evaluation Process and Decision Support System Proposal Based on Entropy and Clustering

Abstract: The complexity and shortcomings of the evaluation processes of research and development (R&D) projects lead to problems of consistency and traceability in the evaluation of the projects. This study aims to develop an objective, consistent, and highly applicable decision support system by addressing the main challenges encountered in the evaluation processes of R&D projects in Türkiye. In this context, the literature on evaluation criteria was thoroughly reviewed, expert opinions were collected, the criteria were ranked according to their importance using the entropy method, and the most effective criteria for evaluation were identified. Consequently, the number of criteria was reduced from 247 to 96, thereby facilitating the evaluator's task and forming a more effective evaluation set. The developed decision support system enables comprehensive analysis of projects and allows all stakeholders—from reviewers to executive board members—to conduct evaluations on a more transparent platform. Based on the reviewer scores obtained through the system, projects were classified into four main groups using the k-means clustering algorithm. This platform has accelerated evaluation processes and reduced the workload of decision-makers by 31% to 39%. The results demonstrate that more comprehensive and objective evaluations can be made in dimensions such as the innovative aspects of R&D projects, their economic and national contributions, project planning, and technical infrastructure. The newly developed system addresses the shortcomings of existing evaluation procedures and offers a more structured and holistic approach. It is envisioned that the system can be integrated into various R&D programs in the future to maximize the country's R&D potential and innovation capacity.

Keywords: R&D project evaluation process, Multi-criteria decision making, Entropy, K-means clustering, Decision support system

*Sorumlu yazar (Corresponding author): The Scientific and Technological Research Council of Türkiye, 06100 Kavaklıdere, Ankara, Türkiye

E mail: sedanurbudak@gmail.com (S. N. BUDAK)

Seda Nur BUDAK <https://orcid.org/0000-0003-4188-9988>

Kumru Didem ATALAY <https://orcid.org/0000-0002-9021-3565>

Mehmet KABAK <https://orcid.org/0000-0002-8576-5349>

Tacettin Sercan PEKİN <https://orcid.org/0000-0002-6416-5205>

Gönderi: 01 Ocak 2025

Kabul: 14 Mayıs 2025

Yayınlanma: 15 Temmuz 2025

Received: January 01, 2025

Accepted: May 14, 2025

Published: July 15, 2025

Cite as: Budak SN, Atalay KD, Kabak M, Pekin TS. 2025. A novel reviewer evaluation process and decision support system proposal based on entropy and clustering. BSJ Eng Sci, 8(4): 1034-1049.

1. Giriş

Teknolojik gelişmelerin hız kazanması ve küresel rekabetin artması, Ar-Ge projelerini hem ekonomik hem de toplumsal kalkınmanın temel unsurlarından biri

hâline getirmiştir. Yenilikçi ürün ve süreçlerin geliştirilmesine katkı sunan bu projeler, aynı zamanda çok boyutlu ve karmaşık değerlendirme süreçlerini de beraberinde getirmektedir. Değerlendirme sürecinin



başarısı; yalnızca kaynak planlaması ve operasyonel yeterlilikle değil, aynı zamanda ölçülebilir, nesnel ve yapılandırılmış yöntemlerle sağlanabilmektedir. Ancak proje başvurularının çeşitliliği, kapsam farklılıkları ve değerlendiricilerin öznel yaklaşımları; sürecin tutarlılığı ve izlenebilirliği üzerinde zayıflatıcı etkilere neden olmaktadır.

Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı; Türkiye’de yürütülen Ar-Ge projelerinde karşılaşılan değerlendirme sorunlarına yönelik, veri temelli, nesnel ve bütünlük bir karar destek yaklaşımı geliştirmektir. Bu kapsamda; projelere ilişkin değerlendirme kriterlerinin objektif olarak ağırlıklandırılması, projelerin benzerliklerine göre sınıflandırılması ve nihai değerlendirme sürecinin uzman görüşleriyle entegre edilmesi yoluyla daha tutarlı, izlenebilir ve uygulanabilir bir sistemin tasarlanması hedeflenmektedir.

Ar-Ge projelerinin etkin biçimde değerlendirilebilmesi; her projeye özgü nitelikleri yansıtan kapsamlı kriterlerin belirlenmesini ve bu kriterlerin açık biçimde tanımlanmış yöntemlerle analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda literatürde çok sayıda yaklaşım geliştirilmiştir. Söz konusu yöntemler; bireysel uzman görüşlerine dayalı hakemlik ve panel değerlendirmesi gibi niteliksel yaklaşımlardan, puanlama sistemleri ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri gibi yarı yapılandırılmış yöntemlere; ayrıca matematiksel optimizasyon, veri zarflama analizi, dengeli puan kartı ve portföy optimizasyonu gibi nicel modelleme temelli yaklaşımlara kadar geniş bir yelpazede çeşitlenmektedir. Her bir yaklaşım, belirli bağlamlarda önemli avantajlar sunsa da, yöntemlerin projeye özgü ihtiyaçlara ve karar ortamındaki belirsizlik düzeyine uyarlanabilirliği sınırlı olabilmektedir. Bu nedenle, hangi değerlendirme yönteminin seçileceği; veri yapısı, karar vericilerin stratejik öncelikleri ve uygulama alanının karmaşıklığı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Liberatore ve Titus, 1983; Meade ve Presley 2002; Mardani vd. 2015).

Tablo 1’de, Ar-Ge proje değerlendirme sürecinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin temel özellikleri, güçlü yönleri ve sınırlamaları özetlenmiştir.

Türkiye’de, ulusal hedefler doğrultusunda Ar-Ge projelerini destekleyen lider kurumlar, araştırma ve geliştirmenin teşvik edilmesi, yönlendirilmesi ve desteklenmesi konusunda önemli bir rol üstlenmektedir. Bu kurumların sunduğu destek programları, hem akademi camiası hem de sanayi hem de girişimciler tarafından büyük bir ilgiyle karşılanmaktadır. Özellikle, 2019-2023 yılları arasında ‘Akademik’ ve ‘Kamu’ desteklerini sağlayan programlara toplamda 55.606 proje başvurusu yapılmış ve bunların 9.862’si desteklenmiştir. ‘Sanayi’ desteklerini sağlayan programlara başvuran 65.503 projeden ise 29.928’i desteklenmiştir (TÜBİTAK, 2023). Bu veriler, Ar-Ge projelerinin ülkemizdeki önemini ve ilgili paydaşların destek programlarına yönelik yoğun ilgisini açıkça ortaya koymaktadır. Ancak mevcut değerlendirme sistemlerinin

etkinliği ve objektifliği, değişen koşullar ve yıllara göre değişkenlik gösteren faktörler nedeniyle zaman zaman sorgulanmaktadır. Bu durum, proje seçim süreçlerinde daha kapsamlı ve gelişmiş bir değerlendirme sistemi geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, projelerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler, detaylı bir literatür taraması ve alan uzmanlarının görüşleri ile bir araya getirilmiş, bu kriterler entropi yöntemi kullanılarak önem derecelerine göre sıralanmıştır. Böylece, değerlendirme kriterleri sayısı 247’den 96’ya indirilerek daha yönetilebilir ve etkin bir değerlendirme seti oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, değerlendirme süreçlerinde karşılaşılan tutarsızlık ve izlenebilirlik eksikliklerinin giderilmesi, karar vericilere ise daha sağlıklı analiz yapma ve değerlendirme imkânı sunmaktır. Geliştirilen sistem, kriterlerin nesnel biçimde ağırlıklandırılması ve projelerin anlamlı gruplar hâlinde sınıflandırılması yoluyla değerlendirme sürecinin hızlandırılmasını ve karar vericilerin iş yükünün azaltılmasını amaçlamaktadır.

Bu bölümde, Ar-Ge projelerinin etkili biçimde değerlendirilmesine yönelik temel kavramlar ile mevcut yöntemler ele alınmakta; ardından çalışmada önerilen metodoloji ve elde edilen bulgular detaylandırılmaktadır. Yapılan literatür incelemesinde de Souza vd. (2021) tarafından yapılan derinlemesine inceleme temel alınarak genişletilmiş Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler belirlenmeye çalışılmıştır. Czajkowski ve Jones (1986) ile Mavrotas ve Makryvelios (2021), Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde ‘fayda veya ödeme etkileşimi’ ve ‘çıktı veya teknoloji etkileşimi’ kriterlerinin önemli olduğunu savunmuşlardır. Beaujon vd. (2001), projelerin net ekonomik faydalarının, yapılan yatırımların karşılanabilirliği açısından değerlendirilmesinin gerekliliğini vurgulamış ve bu bağlamda ‘Beklenen net fayda’ kriterinin önemini öne çıkarmıştır. Conka vd. (2008), mevcut sistemlerin modernizasyonunun daha fazla ekonomik fayda sağlayabileceğini ve projelerin bilgi üretme kapasitesini artırabileceğini öne sürmüşlerdir. Eilat vd. (2008), projelerin performansını ve maliyetlerini değerlendirmek için ‘Kazanılmış değer’ kriterini önermişlerdir ve bu kriterin projelerin bütçe ve zaman planına uygunluğunu izlemekte yararlı olduğunu ifade etmişlerdir. Liberatore (1986, 1987, 1988) ve Cheng vd. (2017), Ar-Ge projelerinin ekonomik başarılarının ölçülmesinde ‘Karlılık’ ve ‘Birim fiyat’ gibi kriterlerin kullanılmasını ve ‘Beklenen pazar payı’ ile ‘Müşteri kabulü’ gibi unsurların da dikkate alınmasını tavsiye etmektedir.

Tablo 1. Ar-Ge proje değerlendirmesinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırması

Yöntem	Güçlü Yönleri	Sınırlamaları	Kaynak
Uzman Görüşüne Dayalı Hakemlik	Uzman görüşüne dayalı hakemlik, alan bilgisine dayalı nitelikli ve bağlamsal değerlendirme imkânı sunarak projelerin teknik ve yenilikçi boyutlarının esnek biçimde analiz edilmesini sağlar.	Ancak, değerlendirme süreci öznel yargılara, hakemler arası tutarsızlığa ve yenilikçi projelere karşı önyargıya açık olup şeffaflık ve güvenilirlik açısından sınırlılıklar barındırabilir.	Bornmann (2011)
Panel/Komite Değerlendirmesi	Farklı uzmanlık alanlarından gelen üyelerin kolektif bilgisiyle daha dengeli, çok boyutlu ve bağlamsal olarak zenginleştirilmiş kararlar alınmasına olanak tanır.	Grup dinamiklerinden kaynaklanan önyargılar, bireysel etkilerin gölgelenmesi ve karar alma sürecinde baskın seslerin yönlendirici olması gibi etkenler yöntemin nesnellliğini zayıflatır.	Criscuolo vd. (2017)
Puanlama / Skorlama Yöntemi	Puanlama yöntemi, farklı projelerin belirli kriterler üzerinden karşılaştırılabilir biçimde değerlendirilmesini mümkün kılarak karar sürecine yapı kazandırmakta; ayrıca yalın yapısı ve uygulama kolaylığıyla öne çıkmaktadır.	Kriter ağırlıklarının subjektif belirlenmesi, skorlama ölçeğinin belirsizliği ve değerlendirme sonuçlarının karar vericiler arası tutarlılık göstermemesi yöntemin güvenilirliğini sınırlayabilir.	Henriksen ve Traynor (1999), Miyajima vd. (2022)
Çok Kriterli Karar Verme	Karar vericilerin aynı anda birden fazla ve çoğu zaman çelişen kriteri dikkate alarak daha kapsamlı ve dengeli kararlar almasına olanak tanır.	Kullanılan ÇKKV yönteminin türü ve ağırlıklandırma yaklaşımı, nihai sıralama ve karar sonuçları üzerinde belirgin etkiye sahiptir; buna göre ağırlıklandırma için seçilen yöntem kararın güvenilirliğini etkiler.	Mardani vd. (2015)
Matematiksel Optimizasyon (0-1 Programlama vb.)	Kaynak kısıtları ve hedef fonksiyonları doğrultusunda en uygun proje kombinasyonunu hesaplayarak karar vericilere objektif, model tabanlı çözümler sunar.	Yüksek hesaplama gücü gerektirir, veri duyarlılığı yüksektir ve çoğu zaman gerçek dünya belirsizliklerini yeterince yansıtamaz.	Bard vd. (1988), Archer ve Ghasemzadeh (1999), Siksnelyte-Butkiene vd. (2020)
Veri Zarflama Analizi	Karar birimlerinin göreceli etkinliğini doğrudan gözlemsel verilerle analiz edebilmesi sayesinde nicel girdiler ve çıktılar arasında objektif, ölçeklenebilir ve karşılaştırmalı değerlendirmeler sunar.	Yalnızca nicel verilerle çalışabilmesi, girdi ve çıktı sayısına duyarlılığı ve karar verici tercihlerini modelleyememesi yöntemin esnekliğini ve yoruma açıklığını sınırlayabilir.	Charnes vd. (1978), Isied ve Daneshvar (2024)
Dengeli Puan Kartı	Projeleri sadece finansal çıktılarla değil; müşteri memnuniyeti, iç süreçler, öğrenme ve büyüme gibi stratejik boyutlarla da ilişkilendirerek bütüncül bir değerlendirme yaklaşımı sunar.	Ölçütlerin tanımlanmasındaki belirsizlikler, subjektiflik riski ve nicel olmayan performans göstergelerinin puanlanmasında yaşanan zorluklar yöntemin nesnellliğini ve karşılaştırılabilirliğini sınırlayabilir.	Kaplan ve Norton (1992), Suvvari (2023)
Portföy Optimizasyonu	Sınırlı kaynaklar altında projelerin birlikte değerlendirilmesini sağlayarak, stratejik hedeflere en yüksek katkıyı sağlayacak proje kombinasyonunu bilimsel temelde belirlemeye olanak tanır.	Modelin doğruluğu kullanılan girdilere ve varsayımlara yüksek derecede bağımlı olup; veri eksikliği, kriterler arası bağımlılık ve belirsizlik ortamlarında uygulanabilirlik zorlukları doğurabilir.	Ghasemzadeh ve Archer (2000), Wang vd. (2024), Mavrotas ve Makryvelios (2023)
Entropi + K-ortalamlar (önerilen hibrit yöntem)	Kendi içinde homojen aralarında heterojen olan gruplar oluşturularak grup bazında değerlendirme yapılmasını sağlar. Belirsizlik düzeylerini ölçerek ayırıştırma gücü yüksek, aşırı değişkenliğe dengeli ağırlıklar elde edilmesini sağlar.	K-ortalamlar aykırı değerlere duyarlıdır (Bu çalışmada aykırı değer söz konusu değildir.) Entropi yöntemi nitel verileri işleyemez. (Bu çalışmada nicel veri kullanılmıştır.)	Liu ve Yang (2023), Cebeci ve Yıldız (2015)

Liberatore (1986), 'fiyatlandırma eğilimi, mülkiyet sorunu, coğrafi kapsam ve mevcut ürünler üzerindeki etkisi' gibi faktörleri değerlendirerek, projelerin pazardaki rekabetçi durumlarını ve sürdürülebilirliklerini koruyabilmesi için çevresel etkilerin dikkate alınması gerektiğini savunmuştur. Eilat vd. (2008), projelerin yasal ve düzenleyici çevreye uyum sağlaması gerektiğini

belirten 'düzenleyici etki' kriterini ele almışlardır. Aynı ekip, projelerin bilgi birikimi ve organizasyonel öğrenme süreçlerine katkıda bulunma kapasitesini değerlendiren 'öğrenme ve büyüme' kriterinin de uzun vadeli başarı için kritik olduğunu ifade etmiştir. Montajabiha vd. (2017), piyasa değişkenliklerinin projelerin ekonomik getirisini nasıl etkilediğini tartışmış ve 'yıllık piyasa

oyunaklılığı' kriterini incelemişlerdir. Henig ve Katz (1996), projelerin çevresel sürdürülebilirlik açısından nasıl değerlendirileceği üzerine yoğunlaşarak 'ortam uyumluluğu' kriterini ele almışlardır. Mohanty vd. (2005) ve Mohaghar vd. (2012), projelerin rekabetçi avantajlarını ve pazar paylarını koruma yeteneklerini, aynı zamanda yasal uyumluluklarını, sürdürülebilirliklerini ve toplumsal etkilerini ölçmek için kullanılan birden fazla kriter üzerinde durmuşlardır. Bu kriterler arasında 'rakiplerin benzer alanlarda gösterdiği çabalar', 'çevresel ekonomik düzenlemeler', 'çevre politikası', 'hükümet politikası', 'çevresel güvenlik hususları' ve 'çevresel sosyal ortam' bulunmaktadır.

Wang vd. (2005), projelerin enerji verimliliği ve malzeme tasarrufu konularında performansını ölçmenin önemine vurgu yapmıştır. Liberatore (1986), Mohanty vd. (2005), Mohaghar vd. (2012) ve Cheng vd. (2017), projelerin hammaddelere erişimi ve bu hammaddelerin projelere uygunluğunu değerlendirme gerekliliğine işaret ederek, altyapı ve ekipman kapasitelerinin optimizasyonunun önemini ortaya koymuşlardır. Kumar (2004), sürdürülebilir proje yönetimi için malzeme kaynakları ve sarf malzemelerinin mevcudiyetinin önemine dikkat çekmiştir. Meade ve Presley (2002), projelerin finansal performansını değerlendirmede 'Net bugünkü değer' kriterinin kullanılmasını önermiş ve bu kriterin finansal sürdürülebilirlik için kaynak yönetiminde temel bir rol oynadığını belirtmiştir. Karasakal ve Aker (2017), projelerin insan gücü ve diğer maddi kaynakların yönetimindeki etkinliğin önemini vurgulamıştır.

Eilat vd. (2008) ve Hesarsorkh vd. (2021), projelerin hem ticari başarı potansiyelini hem de teknik başarıya ulaşma yeteneğini değerlendiren 'Ticari ve teknik başarı olasılığı' kriterini ele almışlardır. Bu kriter, projelerin piyasa başarısını öngörmede önemli bir ölçüttür. Ayrıca, Liberatore (1986) ve Hesarsorkh vd. (2021), projelerin piyasadaki rekabetçi durumlarını ve pazar paylarını artırma kapasitelerini değerlendiren 'Pazar' kriterini ele almışlardır. Projelerin genel başarı potansiyelini değerlendiren 'Başarı Olasılığı' kriteri ise, Taylor vd. (1982), Madey ve Dean (1985), Liberatore (1986, 1987, 1988), Bard vd. (1988), Oral vd. (1991), Meade ve Presley (2002), Kahraman ve Tolga (2008) ve Cheng vd. (2017), tarafından ele alınmıştır. Bu kriter, projelerin genel performansını ölçmede önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde kritik olan 'Risk' kriteri ise, Gustafsson ve Salo (2005), Ghorbani vd. (2006), Bhattacharyya vd. (2011), Hassanzadeh vd. (2014), Bhattacharyya (2015), Heydari vd. (2016) ve Hesarsorkh vd. (2021), tarafından incelenmiştir. Bu çalışmalar, projelerin riskleri nasıl yönettiği ve bu yönetimin projelerin genel başarısına olan etkisini detaylandırmıştır.

Kumar (2004), projelerin müşteri gereksinimlerini net bir şekilde tanımlama kapasitesinin ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilir olup olmadığını değerlendirmenin önemine vurgu yapmıştır. Bitman ve Sharif (2008), projelerin başarılı bir şekilde tamamlanması için gereken

gerçeklerin ve bilginin toplanmasının önemine dikkat çekmiştir. Jeng ve Huang (2015), projelerin acil müşteri taleplerine yanıt verme kabiliyetini ve teknik planlarının detaylarını değerlendiren kriterlere odaklanmışlardır. Mohanty vd. (2005) ve Mohaghar vd. (2012), projelerin müşteri gereksinimlerine uygun olarak sağladığı faydaların önemine vurgu yapmışlardır. Eilat vd. (2008) ve Ramalho (2021), projelerin piyasa gereksinimlerini ve organizasyonun stratejik hedefleriyle uyum içinde olma kapasitesini değerlendiren kriterlerin önemine dikkat çekmişlerdir.

Bitman ve Sharif (2008) ve Salehi vd. (2022), projelerin çevre üzerindeki olası ekolojik etkilerini ve etik değerlere uygunluğunu değerlendirmişlerdir. Hsu vd. (2003), projelerin güvenlik standartlarına uyum sağlama ve çevresel kirlilik risklerini minimize etme yeteneklerini incelemişlerdir. Karaveg vd. (2015), projelerin uzun vadeli çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunma potansiyelini değerlendirmişlerdir. Stewart (1991), projelerin çevreye sağladığı olumlu etkileri ve insanların yaşam kalitesine olan katkılarını değerlendirmiştir. Eilat vd. (2008) projelerin ekip üyelerinin eğitime ve beceri gelişimine olan katkılarını değerlendirmişlerdir. Kumar (2004), projelerin sosyal normlara ve toplumsal beklentilere ne derece uygun olduğunu incelemiştir. Karasakal ve Aker (2017) ve Hünermund ve Czarnitzki (2019), projelerin yeni iş imkanları yaratma potansiyelini değerlendirmişlerdir. Oral vd. (1991), Hsu vd. (2003), Wang vd. (2005), Conka vd. (2008), Wu vd. (2009), Oral (2012), Karasakal ve Aker (2017) ve Salehi vd. (2022), projelerin topluma sağladığı sosyal faydaları ve toplumsal gelişmeye olan katkılarını değerlendirmişlerdir.

Kumar (2004), mevcut projelerle olan uyum ve bağlantıları incelerken, Bhattacharyya (2015) projelerin diğer sistemlere veya projelere olan teknik bağımlılıklarını analiz etmiştir. Stewart (1991), projelerin gelecekteki iş fırsatlarına katkıda bulunma potansiyelini, Mohanty vd. (2005) ise mevcut ürünlerle teknik etkileşimleri değerlendirmiştir. Meade ve Presley (2002), projelerin diğer ürün ve süreçlere entegrasyon potansiyellerini ortaya koymuş, Oral vd. (1991) ise teknik yenilik yapma kapasitelerini vurgulamışlardır. Wang vd. (2005) projelerin teknik gelişimini ve yaratıcılığını, Jeng ve Huang (2015) ise yenilikçi teknolojiler geliştirme yeteneklerini incelemiştir. Bitman ve Sharif (2008) ve Conka vd. (2008) projelerin teknolojik yenilik kapasitelerine odaklanmış, Hsu vd. (2003) ise diğer teknolojilerle olan bağlantıları değerlendirmiştir. Imoto vd. (2008) projelerin karşılaştığı teknik zorlukları ele alırken, Karasakal ve Aker (2017) kullanılan teknolojilerin uygunluğunu ve etkinliğini değerlendirmiştir. Eilat vd. (2008), projelerin teknik bilgi birikimi ve beceri seviyesini incelemiş, Liberatore (1986) ve Jeng ve Huang (2015) ise projelerin teknik başarıya ulaşma olasılıklarını ve bu başarıyı etkileyen faktörleri analiz etmişlerdir.

Tablo 2. Proje değerlendirmede önerilen çeşitli boyut ve kriterler

Boyut	Kriter	Kaynak
Fayda	Ekonomik getiri	Czajkowski ve Jones (1986), Mavrotas ve Makryvelios (2021)
	Teknoloji geliştirme potansiyeli	Czajkowski ve Jones (1986), Mavrotas ve Makryvelios (2021)
	Beklenen net fayda	Beaujon vd. (2001)
	Mevcut sistemlerin modernizasyonunun ekonomik faydaları	Conka vd. (2008)
	Projelerin bilgi üretme kapasitesi	Conka vd. (2008)
	Kazanılmış değer	Eilat vd. (2008)
	Karlılık ve birim fiyat	Liberatore (1986), (1987), (1988), Cheng vd. (2017)
Çevresel Gelir	Beklenen pazar payı ve müşteri kabulü	Liberatore (1986), (1987), (1988), Cheng vd. (2017)
	Fiyatlandırma eğilimi	Liberatore (1986)
	Mülkiyet sorunu	Liberatore (1986)
	Coğrafi kapsam	Liberatore (1986)
	Mevcut ürünlere etkisi	Liberatore (1986)
	Düzenleyici etki	Eilat vd. (2008)
	Öğrenme ve büyüme	Eilat vd. (2008)
	Yıllık piyasa oynaklığı	Montajabiha vd. (2017)
	Ortam uyumluluğu	Henig ve Katz (1996)
	Çevresel ekonomik düzenlemeler	Mohanty vd. (2005), Mohaghar vd. (2012)
	Çevre politikası ve hükümet politikası	Mohanty vd. (2005), Mohaghar vd. (2012)
Kaynak	Çevresel güvenlik hususları ve sosyal ortam	Mohanty vd. (2005), Mohaghar vd. (2012)
	Enerji verimliliği	Wang vd. (2005)
	Malzeme tasarrufu	Wang vd. (2005)
	Hammaddelere erişim	Liberatore (1986), Mohanty vd. (2005), Mohaghar vd. (2012), Cheng vd. (2017)
	Mevcut altyapı ve ekipman	Liberatore (1986), Mohanty vd. (2005), Mohaghar vd. (2012), Cheng vd. (2017)
	Malzeme kaynaklarının mevcudiyeti	Kumar (2004)
	Net bugünkü değer (NBD)	Meade ve Presley (2002)
Risk	İnsan gücü ve maddi kaynakların yönetimi	Karasakal ve Aker (2017)
	Ticari ve teknik başarı olasılığı	Eilat vd. (2008), Hesarsorkh vd. (2021)
	Pazar ve rekabet	Liberatore (1986), Hesarsorkh vd. (2021)
	Başarı olasılığı	Taylor vd. (1982), Madey ve Dean (1985), Liberatore (1986), (1987), (1988), Bard vd. (1988), Oral vd. (1991), Meade ve Presley (2002), Kahraman ve Tolga (2008), Cheng vd. (2017)
	Risk yönetim stratejileri	Gustafsson ve Salo (2005), Ghorbani vd. (2006), Bhattacharyya vd. (2011), Hassanzadeh vd. (2014), Bhattacharyya (2015), Heydari vd. (2016), Hesarsorkh vd. (2021)
Gereksinimler	Müşteri gereksinimlerini tanımlama kapasitesi	Kumar (2004)
	Proje gereksinimlerinin toplanması	Bitman ve Sharif (2008)
	Acil müşteri taleplerine yanıt verme	Jeng ve Huang (2015)
	Müşteri gereksinimlerine uygun fayda sağlama	Mohanty vd. (2005), Mohaghar vd. (2012)
Sosyal ve Çevre Etkisi	Piyasa gereksinimlerine uyum	Eilat vd. (2008), Ramalho (2021)
	Çevresel ekolojik etki	Bitman ve Sharif (2008), Salehi vd. (2022)
	Güvenlik standartlarına uyum	Hsu vd. (2003)
	Çevresel sürdürülebilirlik	Karaveg vd. (2015)
	Yaşam kalitesine katkı	Stewart (1991)
	Eğitim ve beceri gelişimi	Eilat vd. (2008)
	Sosyal normlara uygunluk	Kumar (2004)
	Yeni iş imkanları yaratma	Karasakal ve Aker (2017), Hünermund ve Czarnitzki (2019)
	Toplumsal gelişmeye katkı	Oral vd. (1991), Hsu vd. (2003), Wang vd. (2005), Conka vd. (2008), Wu vd. (2009), Oral (2012), Karasakal ve Aker (2017), Salehi vd. (2022)
	Mevcut projelerle uyum	Kumar (2004)
Teknik	Teknik bağlantılar	Bhattacharyya (2015)
	İş fırsatlarına katkı	Stewart (1991)
	Mevcut ürünlerle teknik etkileşim	Mohanty vd. (2005)
	Diğer ürün ve süreçlerle entegrasyon	Meade ve Presley (2002)
	Teknik yenilik yapma kapasitesi	Oral vd. (1991)
	Teknik gelişim ve yaratıcılık	Wang vd. (2005)
	Yenilikçi teknolojiler geliştirme	Jeng ve Huang (2015)
	Teknolojik yenilik kapasitesi	Bitman ve Sharif (2008), Conka vd. (2008)
	Teknolojik bağlantılar	Hsu vd. (2003)
	Teknik zorluklar	Imoto vd. (2008)
	Teknoloji uygunluğu ve etkinliği	Karasakal ve Aker (2017)
	Teknik bilgi birikimi	Eilat vd. (2008)
	Teknik başarıya ulaşma olasılığı	Liberatore (1986), Jeng ve Huang (2015)

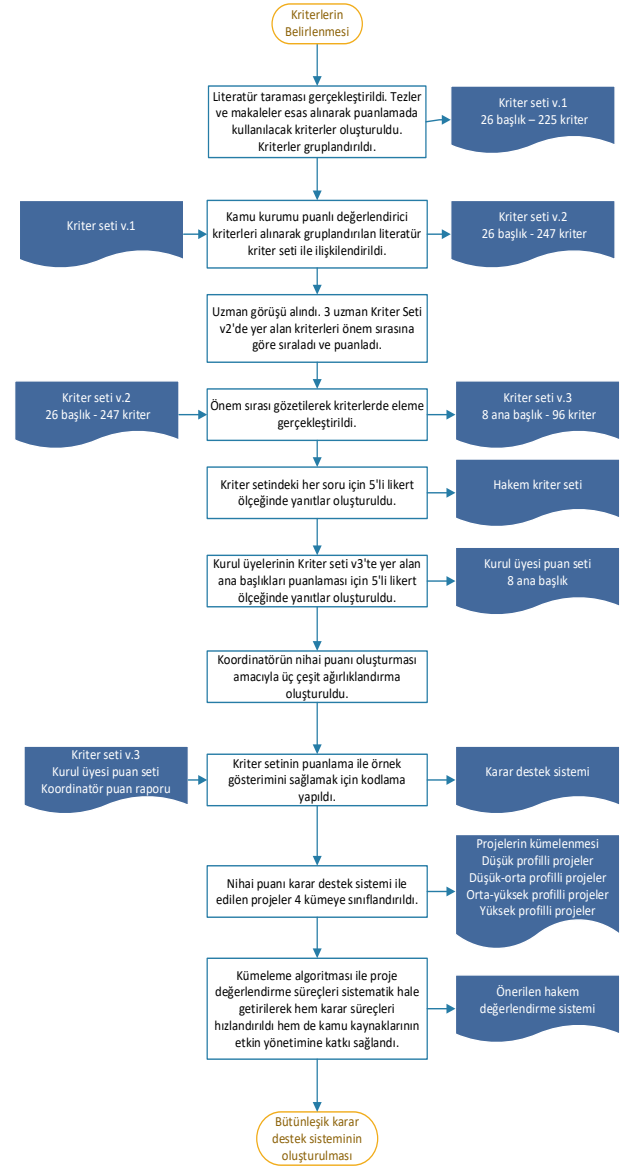
Tablo 2'de sunulan kriterler, Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesi için kullanılan kriterlerin çok yönlü ve kapsamlı bir bakış açısı sağladığını ortaya koymaktadır. Ekonomik getiri, teknoloji geliştirme potansiyeli, pazar ve müşteri kabulü, düzenleyici etkiler, çevresel sürdürülebilirlik, proje kaynaklarının yönetimi ve teknik uyum gibi kriterler, projelerin başarıya ulaşma olasılıklarını artıran temel göstergeler olarak dikkat çekmektedir. Bu kriterlerin, bütçe ve zaman planlamasından çevresel etkilere ve toplumsal katkıya kadar uzanan geniş bir çerçevede değerlendirilmesi, projelerin daha etkin ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır.

Sunulan bu değerlendirme kriterleri, projelerin farklı yönlerini nesnel, yapılandırılmış ve bütüncül bir değerlendirme süreci içerisinde ele alarak başarıya ulaşmalarına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, yenilikçilik düzeyi, uygulanabilirlik, risk yönetimi, stratejik uyum ve sosyal/çevresel etki gibi boyutlarda kapsamlı analizlere olanak tanımaktadır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde, kriterlerin belirlenmesi, elenmesi ve ağırlıklandırılması süreci ile birlikte önerilen karar destek sistemi ayrıntılı biçimde açıklanacaktır. Üçüncü bölümde, geliştirilen yöntemin uygulandığı kurumsal analiz bulgularına yer verilmekte; son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve tartışmalar sunulmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde, teknoloji geliştirme amacıyla gerçekleştirilen Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesine yönelik kapsamlı çalışmalar ele alınmaktadır. İlk olarak, projelerin çok boyutlu ve objektif bir şekilde değerlendirilmesi için gerekli kriterler belirlenmiş ve veri toplama süreci tamamlanmıştır. Belirlenen kriterler, entropi yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve projelerin daha doğru bir şekilde puanlanması sağlanmıştır. Ek olarak, daha hassas bir eleme mekanizması oluşturmak amacıyla kriterler, iki aşamalı bir filtreleme sürecinden geçirilmiştir. Bu süreç, değerlendirme kalitesini artırmak amacıyla tasarlanmış bir karar destek sistemini kapsamaktadır. Sistem, benzer özelliklere sahip projeleri gruplamak ve daha stratejik, hedef odaklı değerlendirmeler yapmak için kümeleme analizi yöntemini kullanmaktadır. Hakem değerlendirme süreci için önerilen yöntem ve geliştirilen karar destek sistemi için çalışma kapsamında gerçekleştirilen adımlar Şekil-1'deki akış diyagramı ile verilmiştir.



Şekil 1. Proje değerlendirme sistem önerisi iş akışı.

2.1. Veri Toplama ve Kriter Belirleme

Veri toplama aşamasında, Türkiye'deki Ar-Ge projelerini destekleyen araştırma kurumlarının proje değerlendirme süreçlerine odaklanılmıştır. Çalışmada, kurum uzmanlarının geri bildirimleri ve önceki projelerden elde edilen veriler temel alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması sonucunda yaygın kabul gören 247 değerlendirme kriteri belirlenmiş ve bu kriterler, mantıksal bütünlük gözetilerek sınıflandırılmalarına olanak sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır. Kriterler; fayda, çevresel gelir, kaynak, risk, gereksinimler, sosyal ve çevresel etki, strateji ve teknik olmak üzere sekiz ana grup altında toplanmıştır.

2.2. Kriterlerin Ön Elemeden Geçirilmesi

Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde kritik kriterleri belirlemek ve değerlendirme sürecinin optimize edilmesi amacıyla iki aşamalı bir metodolojik yaklaşım benimsenmiştir. Söz konusu yaklaşım; kriter seçimi, ağırlıklandırma ve sıralama adımlarında nesnel ve

bütüncül bir yapı sunarak değerlendirme sürecinin tutarlılığını ve karar kalitesini artırmayı hedeflemektedir. İlk aşamada, değerlendirme sürecinin uzmanlık ve tecrübe gereksinimleri göz önünde bulundurularak, alanda uzman üç karar verici seçilmiştir. Bu kişiler, sektörde uzun yıllara dayanan deneyime sahip uzmanlardan seçilmiş olup, kararların kişisel önyargılardan arındırılması hedeflenmiştir. Başlangıçta $g = 26$ boyut altında değerlendirilen toplam kriter sayısı $n = 247$ 'dir. Her bir kriter, karar vericiler tarafından görece önceliklerine göre sıralanmış ve bu sıralamalar, geometrik ortalama yöntemiyle birleştirilerek ortak öncelik düzeyi hesaplanmıştır (eşitlik 1):

$$G_{gj} = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m T_{gji}} \quad i = 1.2. \dots m \quad (1)$$

Burada, G_{gj} , g grubunda yer alan j -inci kriterin geometrik ortalaması, T_{gji} , g grubundaki j -inci kriter için i -inci karar vericinin verdiği puan, m karar verici sayısıdır.

Tüm kriterler için geometrik ortalamalar eşitlik 1 ile hesaplanmış, ardından geometrik ortalamaların medyanı grup bazlı olarak alınmıştır. g grubu için geometrik ortalamayı temsil eden G_g 'nin medyanı ise eşitlik 2'deki gibi hesaplanmıştır:

$$\text{Med}(G_g) = \begin{cases} G_g \left[\frac{n+1}{2} \right] & n: \text{tek sayı ise} \\ \frac{G_g \left[\frac{n}{2} \right] + G_g \left[\frac{n}{2} + 1 \right]}{2} & n: \text{çift sayı ise} \end{cases} \quad (2)$$

Her bir grupta grup medyanından büyük ortalamaya sahip kriterler alınarak diğerleri elenmiştir (eşitlik 3):

$$\text{Elenen Kriterler} = \{j \mid G_{gj} > \text{Med}(G_g)\} \quad (3)$$

Burada j medyan değerinin üstünde geometrik ortalama puanına sahip kriterleri ifade eder.

Bu eleme ile kriter sayısı $n = 247$ 'den $n_{\text{reduced}1} = 131$ 'e düşürülmüştür.

İkinci aşamada, kriterler yeniden düzenlenmiştir; bu düzenleme kapsamında anlam ve içerik açısından birbirine yakın olan kriterler birleştirilerek, mevcut $g = 26$ grup $g_{\text{reduced}} = 8$ ana grup altında yeniden yapılandırılmıştır. Bu süreçte, kriterler tematik ve işlevsel benzerliklerine göre analiz edilerek yeniden yapılandırılmıştır. Öncelikle, her bir kriterin tanımı ve kapsamı ayrıntılı olarak incelenmiş, içeriksel örtüşme gösteren ve benzer kavramsal çerçevede değerlendirilebilecek olanlar tespit edilmiştir. Söz konusu analiz, alanında tecrübeli üç uzmanın yer aldığı karar vericiler tarafından gerçekleştirilmiş; kriterler, anlam ve işlevsel yönleri birlikte ele alınarak kavramsal bütünlüğe sahip temalar altında gruplanmıştır. Örneğin, "beklenen getiri", "proje çalışmasından elde edilecek sonuçların ülkeye kazandırabileceği bilgi birikimi" ve "beklenen pazar payı" gibi finansal fayda ve finansal olmayan fayda gibi benzer içerikli kriterler "Fayda

Boyutu" başlığı altında birleştirilmiştir. Gruplama sürecinde, tematik kodlama ve içerik analizi yaklaşımlarından yararlanılarak, anlam bütünlüğü taşıyan üst başlıklar altında stratejik yönlendirme sağlayan bir yapı kurgulanmıştır. Sonuç olarak, 26 kriter, aralarındaki ilişkileri daha açık şekilde yansıtan 8 ana grup altında toplanmış; böylece değerlendirme süreci daha bütüncül, sadeleştirilmiş ve yönetilebilir bir forma kavuşturulmuştur.

İlk eleminin ardından, karar vericilerden, puanlamaların ötesinde, kriterlerin öncelik sırasını belirlemek için sıralama stratejileri de talep edilmiştir. Bu yaklaşım, özellikle eşit puan almış kriterler arasında daha ayrıntılı bir ayırım yapılmasını sağlamıştır. Nihai olarak, kriterlerin ağırlıklarını nesnel veriye dayalı biçimde hesaplamak üzere, bilgi temelli bir yaklaşım olan entropi yöntemi uygulanmıştır. Bu çok ölçütlü karar verme yöntemi, kriterler arası karşılaştırmalarda adil ve tutarlı bir ölçüm sunarak, projelerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımıştır.

2.3. Kriter Ağırlıklandırma – Entropi Yöntemi

Kriterlerin önceliklendirilmesi ve ağırlıklandırılması, entropi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Entropi kavramı, bilim ve mühendislik dalları olan fizik, bilgi teorisi ve matematik, termodinamik alanında gelişmiş ve ardından bilgi entropisi ortaya çıkmıştır. Entropi ilk olarak, Rudolph tarafından 1865'de termodinamik alanında geliştirilmiş ve 1948'de Shannon tarafından bilgi entropisi kavramı ortaya atılmıştır (Zhang, 2011). ÇKKV problemlerinde, kriterlerin önem düzeylerinin ortaya çıkarılmasında kullanılan bu yöntem, ağırlıkların hesaplanması için objektif bir değerlendirme yöntemidir (Ömürbek ve Aksoy, 2016). Kriterlerin entropisi, kriterlerin önem derecelerini yansıtmaktadır. Daha yüksek entropiye sahip olan bir kriter, daha fazla bilgi veya belirsizlik içermekte ve dolayısıyla daha düşük bir ağırlığa sahip olabilmektedir. Bu şekilde, entropi kullanarak kriterlere ağırlık atayarak veya kriterlerin önem sıralamasını yaparak karar verme sürecinde daha dengeli ve bilgi temelli bir yaklaşım elde edilebilmektedir. Entropi yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır (Karami ve Johansson 2013; Wang ve Lee 2019).

Adım 1: Karar matrisi (X) oluşturulur.

Karar matrisi, karar vericiler tarafından sürecin başlangıcında oluşturulan matristir. Satırlarında sıralanmak istenilen karar seçenekleri, sütunlarında ise ölçütler yer alır (eşitlik 4).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 2: Karar matrisi normalize edilir. Normalize karar matrisi (N) oluşturulurken ölçütlerdeki minimum ya da maksimum amaca bakılmaksızın (eşitlik 5).

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (5)$$

eşitliğine göre X karar matrisi normalize edilir.

Adım 3: Her bir kriterin entropi ölçüsü hesaplanır.

Bu çalışmada kullanılan entropi yöntemi, Shannon Entropisi'ne dayanmaktadır. Shannon (1948) tarafından geliştirilen bu yöntem, bilgi teorisine dayalı olarak her bir kriterin bilgi belirsizliğini ölçmeyi ve bu sayede kriterin ayırt ediciliğini belirlemeyi amaçlar.

Entropi değeri eşitlik 6 yardımıyla bulunur.

$$E_j = -h \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad i = 1.2. \dots m, j = 1.2. \dots n \quad (6)$$

Eşitlik 6'da h bir sabiti temsil eder ve formülü (eşitlik 7)

$$h = \frac{1}{\ln(m)} \quad (7)$$

ile gösterilir.

Adım 4: Kriterlerin farklılaşma derecesi eşitlik 8 yardımıyla hesaplanır.

$$d_j = 1 - E_j \quad j = 1.2. \dots n \quad (8)$$

D_j , j yapısında mevcut olan bir karışıklık yoğunluğunu gösterir.

Adım 5: Kriter ağırlıkları eşitlik 9 kullanılarak hesaplanır.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad j = 1.2. \dots n \quad 0 \leq w_j \leq 1 \text{ ve } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (9)$$

Entropi yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, ikinci aşama eleme süreci, kriterlerin dörtte birlik (quartile) değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda, 35 kriter daha elenerek toplam kriter sayısı $n_{reduced2} = 96$ 'ya düşürülmüştür. Sonuçta kategori altında 96 kriter elde edilmiş ve hakem değerlendirme süreci için sistematğin belirlenmesi sağlanmıştır.

2.4. Karar Destek Sistemi

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, bu kriterleri kullanarak projeleri değerlendirmek amacıyla 'ECLIPSE', bir açık kaynak kodlu ve Java tabanlı platformda özel bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, hakemler, grup yürütme kurulu üyeleri ve grup koordinatörleri için özelleştirilmiş kullanıcı arayüzleri sunmaktadır.

Mevcut sistemde, hakem değerlendirmeleri ortalama alınarak hesaplanmakta, yürütme kurulu üyeleri ise projelere -10 ile +10 arasında ek puan verebilmektedir. Önerilen sistemde ise bu yapı genişletilmiş; yürütme kurulu üyelerine projelere 0 ile 100 arasında puan verme imkânı tanınmıştır. Böylece puanlama ölçeği daha esnek ve karşılaştırılabilir bir yapıya kavuşturulmuştur.

Hakem ve kurul puanlarının nihai puana etkisi, farklı ağırlıklandırma senaryoları ile yapılandırılmıştır. Bu bağlamda, %80 hakem - %20 yürütme kurulu, %70

hakem - %30 yürütme kurulu ve %60 hakem - %40 yürütme kurulu şeklindeki üç farklı oran senaryosu uygulanmıştır. Bu senaryolar, karar vericilere projeleri çeşitli stratejik yaklaşımlar altında değerlendirme esnekliği sağlamaktadır.

2.5. Kümeleme Analizi ve Hiperparametre Seçimi

K-ortalamlar algoritması (k-means), kümeleme analizlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Forgy, 1965; MacQueen, 1967). Bu algoritma, veri setini önceden belirlenmiş k adet kümeye ayırmayı ve her küme için ortalama bir merkez (centroid) belirleyerek veri noktalarını en yakın merkeze atamayı hedefler. Temel amacı, kümeler içi varyansı en aza indiren bir yapı oluşturmaktır. Bu bağlamda, algoritmanın minimize etmeyi hedeflediği amaç fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir (Xu ve Wunsch, 2008) (eşitlik 10).

$$E(C) = \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in C_j} \|x_i - c_j\|^2 \quad (10)$$

Burada, k toplam küme sayısını, C_j j -inci kümeyi, c_j j -inci kümenin merkezini, x_i , C_j kümesine ait bir veri noktası temsil etmektedir. $\|x_i - c_j\|^2$ ise veri noktalarının küme merkezine olan uzaklığının karesidir. Her iterasyonda, veri noktaları en yakın merkeze atanır ve küme merkezleri yeniden hesaplanır. Atama kuralı şu şekilde ifade edilebilir (Xu ve Wunsch, 2008) (eşitlik 11):

$$x_j \in C_l \text{ eğer } \|x_j - m_l\| < \|x_j - m_i\|, i \neq l \text{ ve } i = 1, \dots, K, j = 1, \dots, N \quad (11)$$

Burada, x_j veri noktalarından biri olup, kendisine en yakın küme merkezine atanması sağlanır. Daha sonra, her bir kümenin yeni merkezi ilgili kümede yer alan veri noktalarının ortalaması alınarak güncellenir (eşitlik 12).

$$m_i = \frac{1}{N_i} \sum_{x_j \in C_i} x_j \quad (12)$$

Bu yinelemeli süreç, küme merkezlerinin değişmediği ya da belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığı noktaya kadar devam eder.

K-ortalamlar algoritması, küme merkezlerine olan uzaklıkları hesaplamak için farklı mesafe ölçütleri kullanabilir. En yaygın ölçüt Ökliden mesafedir; bu metrik, koordinat farklarının kareleri üzerinden benzerliği değerlendirir (Ghazal, 2021; Syakur vd. 2018) (eşitlik 13).

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (13)$$

K-ortalamlar kümeleme algoritmasının başarısı, merkez noktalarının (centroid) başlangıç pozisyonlarına oldukça duyarlıdır. Bu sebeple, k-ortalamlar algoritması farklı başlangıç merkez dağılımlarıyla tekrarlanabilir. Alternatif olarak, Arthur ve Vassilvitskii (2006) tarafından önerilen k-ortalamlar++ yöntemi kullanılabilir. K-ortalamlar++ başlangıç merkez dağılımlarını seçmek için kullanılan bir yöntemdir ve dört ana adımdan oluşur:

Adım 1: İlk merkez noktası (m_1) rastgele bir veri noktası (y_i) olarak seçilir.

Adım 2: Her y_i için en yakın merkez noktasına olan mesafe $F(y)$ hesaplanır.

Adım 3: Seçilmeyen veri noktaları arasından (y'_i), yeni bir merkez noktası (m_1), $\frac{F(y'_i)^2}{\sum F(y'_i)^2}$ olasılığıyla seçilir.

Adım 4: Merkez noktalarının sayısı k 'ya ulaşana kadar Adım 2 ve 3 tekrarlanır.

Bir veri seti için optimal küme sayısını belirlemek, k-ortalamalar kümeleme algoritmasının en kritik aşamalarından biridir (Shahapure ve Nicholas, 2020). Bu amaçla en yaygın kullanılan yöntemler Dirsek (Elbow) ve Silhouette yöntemleridir.

Dirsek yöntemi, küme sayısının belirlenmesine yönelik sezgisel bir yöntemdir ve küme içi hata kareler toplamı (Within-Cluster Sum of Squares - WCSS) değerini temel almaktadır. Bu yöntemde, farklı küme sayıları için WCSS hesaplanarak bir grafik oluşturulmaktadır. Küme sayısı arttıkça, WCSS değeri azalmaktadır, ancak belirli bir noktadan sonra azalma oranı yavaşlamakta ve grafik üzerinde bir "dirsek" şeklinde bir kırılma meydana gelmektedir. Bu kırılma noktası, optimum küme sayısının belirlendiği noktayı ifade etmektedir (Ketchen ve Shook, 1996).

Silhouette yöntemi ise, her bir veri noktasının kendi kümesi ile ne kadar iyi eşleştiğini ve diğer kümelerden ne kadar ayrıldığını değerlendiren bir tekniktir. Rousseeuw tarafından 1987 yılında önerilen bu yöntem, kümeleme sonuçlarının doğruluğunu ölçmek için kullanılmaktadır. -1 ile 1 arasında değer alan Silhouette değeri, kümeleme başarısını gösterir ve en yüksek değere sahip küme sayısı ideal kabul edilir.

K-ortalamalar algoritması için Orange Data Mining (Demšar vd. 2004) yazılımında yer alan k-ortalamalar++ başlatma yöntemi (Arthur & Vassilvitskii, 2006) kullanılmıştır. Bu yöntem, ilk küme merkezlerinin seçiminde rastgeleliğe dayalı yaklaşımlara kıyasla daha dengeli ve kararlı merkezler oluşturarak, kümeler arası ayrımın iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Literatürde, frekans poligonlarına dayalı olarak çalışan InoFrep algoritması (Cebeci & Cebeci, 2020) gibi alternatif başlatma yöntemleri de mevcuttur. InoFrep, verideki yoğunluk merkezlerini belirleyerek deterministik ve veri yapısına duyarlı bir başlatma sağlamaktadır. Ancak bu çalışmada kullanılan yazılım altyapısında k-ortalamalar++ yöntemi bulunduğundan, analizler bu yöntemle gerçekleştirilmiştir.

Projelerin tüm kriterler ve ek puanlamalar üzerinden hesaplanan toplam değerlendirme puanları esas alınarak, k-ortalamalar kümeleme algoritması ile dört farklı kategoriye ayrılması sağlanmıştır: 'Yüksek profilli', 'Orta-yüksek profilli', 'Düşük-orta profilli' ve 'Düşük profilli'. Küme sayısı ($k = 4$), Ar-Ge proje değerlendirme pratiğinde sıklıkla kullanılan dört profilli yapı esas alınarak belirlenmiştir.

Küme sayısının uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Elbow yöntemi, Silhouette Skoru, Calinski-Harabasz ve

AIC (Akaike Information Criterion) gibi yaygın geçerlilik metrikleri kullanılmıştır. Çalışmanın amacı yalnızca matematiksel olarak en ayrılmış kümeleri tespit etmek değil, aynı zamanda Ar-Ge proje değerlendirme pratiğinde kurumsal karar alma süreçlerine anlamlı ve uygulanabilir sınıflamalar sunmaktır. Bu doğrultuda, $k = 4$ değeri, hem istatistiksel geçerliliği hem de kurumun benimsediği dört profilli değerlendirme yaklaşımıyla olan uyumu nedeniyle uygun ve uygulanabilir bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Özellikle Elbow analizinde $k = 4$ için elde edilen %37,9'luk inertia düşüşü, bu küme sayısının hâlâ güçlü bir ayrım sunduğunu göstermektedir. Tablo 3'te görüldüğü üzere, $k = 3$ istatistiksel olarak optimal bir değer olarak öne çıkmakla birlikte, $k = 4$ uygulama açısından daha tercih edilebilir bir denge noktası sunmaktadır.

Tablo 3. Elbow yöntemi inceleme sonuçları

k	Inertia	Görelî Azalma
2	33,220	-
3	18,684	%43.8 düşüş
4	11,597	%37.9 düşüş
5	7,614	%34.3 düşüş
6	5,822	%23.5 düşüş

K- ortalamalar algoritmasına ilişkin hiperparametreler şu şekilde yapılandırılmıştır:

- Başlatma yöntemi: k- ortalamalar++, daha dengeli ve kararlı başlangıç merkezleri oluşturmak amacıyla kullanılmıştır.
- Maksimum iterasyon sayısı: 300 (Orange yazılımının varsayılan ayarı)
- Başlangıç tekrar sayısı: 10 (rastgele merkez seçiminin etkisini azaltmak amacıyla)
- Mesafe ölçütü: Öklidyen mesafesi
- Tolerans değeri: $1e-4$ (varsayılan)

Bu hiperparametre ayarları, çalışmada kullanılan veri kümesinin özellikleri (örneklem büyüklüğü, varyans düzeyi) dikkate alınarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

Hakem değerlendirme süreçlerinin güvenilirliğini etkileyen faktörler, özellikle Ar-Ge projeleri bağlamında daha karmaşık bir yapı sergilemektedir. Literatürde bu süreçleri etkileyen başlıca unsurlar arasında; hakemlerin alan uzmanlığı, değerlendirme kriterlerinin açıklığı ve ağırlıklandırma biçimi, değerlendirme süresinin yeterliliği, başvuru sayısına bağlı iş yükü yoğunluğu, çıkar çatışmaları, öznel yargı etkisi ve sistematik ön yargılar öne çıkmaktadır (Stelmakh vd., 2019; Sun vd., 2021; Heyard vd., 2021). Özellikle sanayi odaklı Ar-Ge projelerinde; yenilikçilik, uygulanabilirlik, ekonomik katkı ve teknik yeterlilik gibi çok boyutlu kriterlerin öznel yorumlara açık olması, değerlendirme sürecinde önemli tutarsızlıklara yol açabilmektedir. Bu bağlamda, önerilen sistemin temel amacı; karar vericiler arası

sapmaları azaltmak, tutarlılığı artırmak ve yerleşik önyargıları dengeleyen bir karar destek mekanizması sunmaktır.

Bu doğrultuda, geliştirilen karar destek sisteminin ilk adımı olarak, Ar-Ge projelerinin nesnel biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla ölçülebilir ve ayrıştırıcı özellik taşıyan kriterlerin belirlenmesi ve önem derecelerine göre sıralanması hedeflenmiştir. Bu süreç, çalışmanın bulgular bölümü kapsamında ilk olarak kriterlerin belirlenmesi ve derecelendirilmesine ilişkin analizlerle başlatılmıştır.

3.1. Kriterlerin Belirlenmesi ve Derecelendirilmesi

Mevcut literatür ve araştırma kurumunun belirlediği değerlendirme kriterleri birleştirilerek toplamda 247 kriter oluşturulmuştur. Bu kriterler, deneyimli karar vericiler tarafından incelenmiş ve önem derecelerine göre sıralanmıştır.

İlk eleme sürecinde, 247 kriterin her biri için karar verici puanlarının geometrik ortalamaları eşitlik 1 ile hesaplanmış, eşitlik 2 ile grup bazında medyan değerleri bulunmuştur. Medyanın üzerinde kalan kriterler eşitlik 3 ile elenmiş ve böylece ilk filtreleme süreci tamamlanmıştır. Örneğin, 'Finansal Fayda' kategorisinde yer alan 14 kriter için, karar vericilerin sıralamaları baz alınarak geometrik ortalamaları hesaplanmış, bu ortalamaların medyan değeri olan 5,444 değerinin üstündeki geometrik ortalamaya sahip kriterler elenmiştir. Kriterlerin hesaplama sistematığı Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 'Finansal fayda' kriteri için eleme yaklaşımı

Finansal Fayda Kriteri	KV1	KV2	KV3	Geo.Or t
Fayda veya ödeme etkileşimi	5	3	12	5,646
Beklenen net fayda	12	4	6	6,604
Değiştirme yerine sistemin modernleştirilmesiyle sonuçlanan beklenen tasarruf	2	5	7	4,121
Kazanılmış değer	11	1	5	3,803
Karlılık	6	6	4	5,241
Kar	1	3	4	2,289
Net bugünkü değer	9	3	12	6,868
Ekonomik	10	8	8	8,618
Beklenen getiri	4	2	3	2,884
Ürünün büyüme potansiyeli	8	7	2	4,820
Kârlılık potansiyeli, üretkenlik ve maliyetle iyileştirmeler	3	3	1	2,080
Getiri bugünkü değeri	13	9	9	10,174
Gerçek opsiyon değeri	7	10	10	8,879
Hedef ürünlerin katma değeri	14	11	11	11,921
Medyan: 5,444				

Bu işlem tüm kriterler için uygulanmış ve kriter sayısı $n = 247$ 'den $n_{reduced1} = 131$ 'e indirgenmiştir. Ardından, içerik ve anlam açısından birbirine yakın olan kriterler birleştirilerek 26 grup altında yer alan 131 kriter, 8 ana grup altında yeniden düzenlenmiştir. Örneğin 'Finansal Fayda', 'Finansal Olmayan Fayda' ve 'Pazar Potansiyeli ve Çekicilik' kategorileri birleştirilerek 'Fayda Boyutu' kategorisi altında birleştirilmiştir. Birleştirilerek elde edilen yeni kategoriler için de ağırlık hesaplayabilmek adına karar vericilerce yeniden puanlama ve sıralandırma yapılmıştır. Her bir karar verici altında yer alan iki değer, sırasıyla ilgili kriterin göreceli önceliğini gösteren sıralamayı (rank) ve bu sıralamaya karşılık gelen değerlendirme puanını (score) ifade etmektedir. Bu bilgiler Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5: Karar vericiler tarafından sıralandırılan ve puanlanan ana boyutlar

Ana Boyutlar	KV1	KV2	KV3
1 Fayda Boyutu	2 5	1 5	2 5
2 Çevresel Gelir Boyutu	1 5	2 4	3 4
3 Kaynaklar Boyutu	4 3	3 4	4 4
4 Risk Boyutu	6 3	5 3	6 3
5 Kapsam Gereksinimleri	5 3	6 2	5 4
6 Sosyal ve Çevresel Etki	8 2	8 1	8 3
7 Strateji Boyutu	7 3	4 4	7 4
8 Teknik Boyut	3 4	7 2	1 5

3.2. Entropi Yöntemi ile Ağırlıklandırma

Sonraki adımda, kriterlerin ağırlıkları entropi yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu yöntem, her bir kriterin taşıdığı bilgi miktarını ve belirsizlik düzeyini analiz ederek önem derecelerini objektif biçimde belirlemiştir. Hesaplanan ağırlıklar, karar verme sürecine doğrudan entegre edilmiştir. Örnek olarak, 'Finansal fayda' kriteri için eşitlik 6 kullanılarak entropi ölçüsü E_j , eşitlik 8 kullanılarak farklılaşma derecesi d_j ve eşitlik 9 kullanılarak ağırlıklar w_j hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra, her bir kriterin alt kriterlerinde dörtte birlik kullanılarak bir eleme daha gerçekleştirilmiş ve bu süreç sonucunda 35 kriter daha çıkartılarak kriter sayısı nihai olarak $n_{reduced1} = 131$ 'den $n_{reduced2} = 96$ 'ya indirilmiştir.

3.3. Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

Son aşamada ağırlıkları belirlenen 96 kriter, 5'li Likert ölçeğine ('Çok İyi', 'Ortalama Üstü', 'Ortalama', 'Ortalama Altı' ve 'Çok Kötü') uyarlanarak soru formatına dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm, hakem değerlendirmelerinin bütüncül ve entegre bir yapıda yürütülmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Geliştirilen sistem, hakemlerin Likert ölçeği üzerinden yanıtlayabilecekleri bir puanlama arayüzü sunmakta ve proje değerlendirmelerine kolayca entegre edilebilmektedir. Java tabanlı açık kaynak kodlu ECLIPSE (Eclipse Foundation, 2024) platformu kullanılarak geliştirilen ve Apache Tomcat sunucusu üzerinde çalışan

bu web tabanlı uygulama, kullanıcılarının projelere özel olarak tasarlanmış ekranlarla erişmesini ve değerlendirme süreçlerini yürütmesini kolaylaştırmaktadır. Hakemler, yürütme kurulu üyeleri, koordinatörler ve diğer ilgili kullanıcılar için tanımlanmış erişim seviyeleri sayesinde, değerlendirme süreçleri daha düzenli ve etkin bir biçimde yönetilebilmektedir. Bu yapılandırılmış yaklaşım, kriter ağırlıklarının doğrudan değerlendirme sürecine entegre edilmesiyle daha tutarlı ve izlenebilir sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

Tablo 6. Fayda boyutu boyutu için entropi yöntemiyle hesaplanan kriter ağırlıkları

Kriter	Ej	dj	wj
Fayda Boyutu	0,8709	0,1291	0,0499
Değiştirme yerine sistemin modernleştirilmesiyle sonuçlanan beklenen tasarruf	0,3533	0,6467	0,0506
Kazanılmış değer	0,3443	0,6557	0,0513
Karlılık	0,3521	0,6479	0,0507
Kar	0,4174	0,5826	0,0456
Beklenen getiri	0,4031	0,5969	0,0467
Ürünün büyüme potansiyeli	0,3617	0,6383	0,0499
Kârlılık potansiyeli, üretkenlik ve maliyette iyileştirmeler	0,4280	0,5720	0,0447
Fayda/maliyet	0,4150	0,5850	0,0458
Yaygınlaştırma yeteneği	0,4064	0,5936	0,0464
Çıktı	0,4024	0,5976	0,0468
Patent (Proje çıktısının patente konu olma potansiyeli)	0,3840	0,6160	0,0482
Araştırma	0,3992	0,6008	0,0470
Proje çalışmasından elde edilecek sonuçların ülkeye kazandırabileceği bilgi birikimi	0,4149	0,5851	0,0458
Beklenen pazar payı	0,4304	0,5696	0,0446
Pazar potansiyeli (Proje çıktısının potansiyel pazarı / kullanım alanı)	0,4670	0,5330	0,0417
Pazar araştırması	0,3011	0,6989	0,0547
Pazar trendi ve büyüme	0,3548	0,6452	0,0505
Birim fiyat	0,3028	0,6972	0,0545
Beklenen satış hacmi	0,3835	0,6165	0,0482
Satışlar	0,4677	0,5323	0,0416
Proje çıktısının ekonomik getiri potansiyeli, verimlilik artışına ve/veya maliyete etkisi	0,4286	0,5714	0,0447

Şekil 2. Hakemler için puanlama arayüzü.

Mevcut değerlendirme sisteminde, projelerin nihai puanı hakemlerin verdiği puanların aritmetik ortalamasına dayanmaktadır. Yürütme kurulu üyeleri ise bu ortalamalara -10 ile +10 arasında ek puan ekleyebilmektedir. Önerilen sistem ile yürütme kurulu üyelerine, ana boyutları yine 5'li Likert ölçeği ile değerlendirme imkanı tanınmaktadır. Bu yenilikle, kurulun katkıları daha ölçülebilir ve dengeli bir biçimde genel değerlendirme sürecine dâhil edilmiştir. Böylece, yürütme kurulunun etkisi daha izlenebilir ve bütünleştirici bir değerlendirme çerçevesi içerisinde ele alınmıştır.

Şekil 3. Grup yürütme kurulu üyeleri puanlama arayüzü.

Grup koordinatörleri için geliştirilen arayüz, hakem ve yürütme kurulu puanlarının birleştirilerek nihai değerlendirmeye yansıtılması sürecinde koordinatörlerin karar alma süreçlerini desteklemiştir. Bu kapsamda, koordinatörlere üç farklı ağırlıklandırma seçeneği sunulmuştur: %80 Hakem - %20 Yürütme Kurulu, %70 Hakem - %30 Yürütme Kurulu ve %60 Hakem - %40 Yürütme Kurulu. Bu esnek yapı, projeler arasındaki önceliklerin daha etkili biçimde belirlenmesini mümkün kılmıştır. Ayrıca, yürütme kurulu üyelerine projelere 0 ile 100 arasında puan verme yetkisi tanınarak, hakem atama süreçlerinin iş yükü ve maliyet açısından daha verimli yürütülmesi hedeflenmiştir.

Şekil 4: Grup koordinatörü karar giriş arayüzü.

3.4. Projelerin Kümeleme Analizi ile Sınıflandırılması
2022 ve 2023 yıllarında Bilişim Teknolojileri alanında başvuran sırasıyla 480 ve 599 projenin dört farklı profil grubuna ayrılmasını sağlamıştır. Çağrılar arasında yapılan karşılaştırmalarda, eşik değerlerin değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiş ve bu sonuçlar Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7: Çağrı sonuçları için kümeleme ve eşik değerler

Çağrı	Proje Sayısı	Kümeleme Sonuçları ve Eşik Değerler
2022	480	C1: 54,51 – 73,23 puan arası 235 proje C2: 75,13 - 90,71 puan arası 98 proje C3: 91,29 - 110,99 puan arası 95 proje C4: 19,45 – 53,75 puan arası 52 proje
2023	599	C1: 89,96 - 110,89 puan arası 144 proje C2: 58,64 - 73,33 puan arası 222 proje C3: 74,54 - 89,61 puan arası 142 proje C4: 25,48 - 58,52 puan arası 91 proje

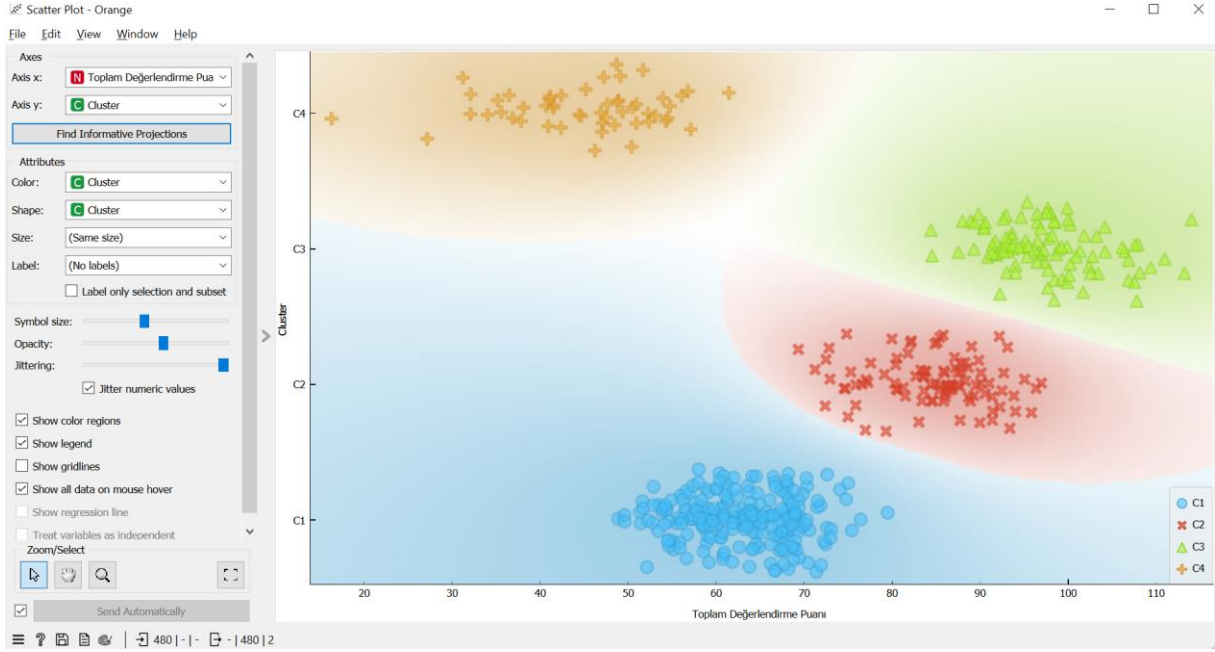
Kümeleme analizinin sonuçları, düşük ve yüksek profilli projelerin sırasıyla doğrudan ret ve destek kararları ile sonuçlanabileceğini göstermiştir, bu da yürütme kurullarının iş yükünü %31 (2022 çağrısı için) ile %39 (2023 çağrısı için) oranında azaltarak süreç verimliliğini artırmaktadır.

Projelerin belirlenen bütçe sınırları dahilinde desteklenmesi bağlamında, kamu kaynaklarının etkin bir şekilde konumlandırılabilmesi için düşük-orta profilli projeler yerine orta-yüksek profilli projelerin desteklenebilirliğinin detaylı bir şekilde incelenmesinin daha fazla katma değer yaratacağı öngörülmüştür. Bu çerçevede, düşük-orta profilli projeler için doğrudan ret kararı alınmasının uygun olabileceği değerlendirilmiştir. Kümeleme analizi kullanılarak yalnızca orta-yüksek profilli projeler üzerinde detaylı bir inceleme yapılması durumunda, yürütme kurullarının iş yükünün toplamda %76 (2022 çağrısı için) ile %80 (2023 çağrısı için) oranında azaltılabileceği ve böylece çağrı sonuçlarının açıklanma sürecine hız kazandırılabilceği sonucuna ulaşılmıştır.

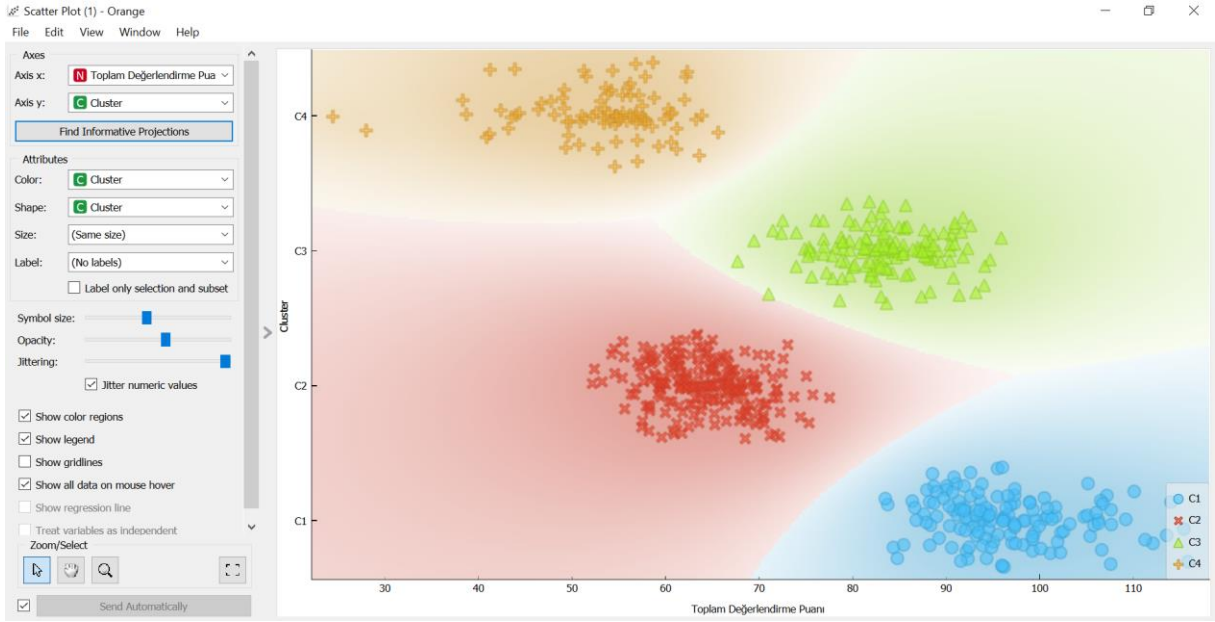
Değerlendirme süreçlerinde oluşturduğumuz yaklaşım ve kümeleme analizine dayalı bulgular, araştırma kurumunun çağrı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. 2022 yılı projelerinde, düşük profilli (C4) grubundaki 52 proje reddedilmiş, düşük-orta profilli (C1) grubunda eşik değer

olarak belirlenen 70 puanın üzerindeki 4 proje desteklenmiş ve geri kalan 231 proje reddedilmiştir. Orta-yüksek profilli (C2) ve yüksek profilli (C3) gruplardaki sırasıyla 98 ve 95 proje tamamen desteklenmeye uygun görülmüştür. Kümeleme analizine göre yüksek ve orta-yüksek profilli projelerin desteklenmesini önerdiğimiz sistematiğimizden farklı olarak kamu kurumu orta-düşük profilli projelerden 4 proje daha desteklemiştir. Bu da önerdiğimiz metodolojinin projelerin potansiyelini etkin bir şekilde değerlendirme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. 2023 yılı çağrısında ise, düşük profilli (C4) grubundaki 91 proje ve düşük-orta profilli (C2) grubundaki 222 proje reddedilmiş, yüksek profilli (C1) grubunda yer alan 144 proje ise desteklenmiştir. Eşik değer olarak belirlenen 74 puanın üzerinde puan alan ve kritik tespitle ret kriterlerini karşılayan 5 proje dışında orta-yüksek profilli (C3) grubundaki 137 proje desteklenmiştir. 2023 yılı için yapılan karşılaştırmada kritik reddedilen 5 proje dışında sistematiğimizde yine oldukça etkin bir sonuç elde ettiği görülmüştür.

Bu bulgular, önerilen karar destek sisteminin değerlendirme süreçlerine önemli ölçüde tutarlılık kazandırdığını göstermektedir. Ancak sistem tarafından yüksek veya orta düzeyde önceliklendirilen bazı projelerin kurum tarafından desteklenmemesi ya da sistemin düşük öncelikli olarak sınıflandırdığı bazı projelerin desteklenmiş olması, karar süreçlerinde belirli düzeyde sapmaların yaşandığını da ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, önerilen sistem ile kurum tarafından verilen fiili destek kararları arasındaki örtüşme ve farklılıkları nicel olarak ortaya koymak amacıyla karşılaştırma hazırlanmış ve Tablo 8’de sunulmuştur.



Şekil 5. Sanayi Ar-Ge destek programı 2022 çağrısı projelerinin puana göre kümelemesi.



Şekil 6. Sanayi Ar-Ge destek programı 2023 çağrısı projelerinin puana göre kümelemesi.

Tablo 8. Önerilen kümeleme tabanlı sistem ile gerçekleşen kurumsal destek kararları arasındaki sapma analizi

Çağrı	Küme Tanımı	Proje Sayısı	Desteklenmesi Önerilen Proje Sayısı	Kurumca Gerçekten Desteklenen	Fark (Bias)
2022	C1: Düşük-orta profilli	235	0	4	4
	C2: Orta-yüksek profilli	98	98	98	0
	C3: Yüksek profilli	95	95	95	0
	C4: Düşük profilli	52	0	0	0
2023	C1: Yüksek profilli	144	144	144	0
	C2: Düşük-orta profilli	222	0	0	0
	C3: Orta-yüksek profilli	142	142	137	5
	C4: Düşük profilli	91	0	0	0

Genel olarak değerlendirildiğinde, önerilen k- ortalamalar algoritması tabanlı kümeleme modeli ile kurum kararları arasındaki yüksek düzeydeki örtüşme, modelin karar destek amacıyla güçlü bir öngörü yeteneğine sahip olduğunu; aynı zamanda, oluşan küçük sapmalar ise kurumsal değerlendirme süreçlerinde dikkate alınan ek kriterlerin (örneğin bütçe uygunluğu) etkisini işaret etmektedir. Önerilen sistem, proje değerlendirme süreçlerine yapı ve tutarlılık kazandırarak karar alma süreçlerini hızlandırdığını ve kamu kaynaklarının daha etkin yönetimine katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu modelle proje grupları önceliklendirilmiş, böylece yürütme kurullarının iş yükü önemli ölçüde azalmış, toplantı verimliliği artmış ve çağrı sonuçlarının daha hızlı açıklanması sağlanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamında, Türkiye'deki Ar-Ge projelerinin değerlendirme süreçlerinde etkinlik ve nesnelliği artırmak üzere, karar alma süreçlerini daha tutarlı ve izlenebilir kılacak bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Geliştirilen sistemin temelinde, proje değerlendirme süreçlerinde karşılaşılan zorluklar ve eksiklikler üzerine yapılan analizler yer almaktadır. Mevcut değerlendirme sistemlerinin çoğu, projelerin detaylı bir şekilde ele alınmasını ve objektif bir puanlama yapılmasını zorlaştırmakta, süreçlerde gereksiz zaman ve kaynak kayıplarına neden olmaktadır. Bu bağlamda, projelerin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin entropi yöntemiyle belirlenmesi ve ağırlıklandırılması, daha adil, dengeli ve bilgi temelli bir süreç oluşturulmasını sağlamıştır. Bu süreçte toplamda 247 kriterden 96'ya indirilen kriter seti, projelerin çeşitli yönlerini daha etkin bir şekilde ele alarak, hem hakemler hem de karar vericiler için daha yapılandırılmış bir değerlendirme platformu sunmuştur.

Geliştirilen sistemin en önemli katkılarından biri, projelerin k- ortalamalar kümeleme algoritması ile sınıflandırılmasıdır. Bu süreç, projelerin dört ana grupta (yüksek profilli, ortalama üstü, ortalama ve düşük profilli) sınıflandırılmasını sağlayarak değerlendirme sürecine önemli bir hız ve verimlilik kazandırmıştır. Özellikle, düşük profilli projelerin detaylı bir incelemeye gerek kalmadan hızlı bir şekilde değerlendirilebilmesi, yürütme kurullarının iş yükünü önemli ölçüde hafifletmiştir. Bu, değerlendirme süreçlerinin daha hızlı tamamlanmasına ve kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasına imkan tanımıştır. 2022 ve 2023 yıllarında Sanayi Ar-Ge destek programına başvuran projeler üzerinde yapılan uygulamalarda, iş yükünün %31 ila %39 oranında azalması, sistemin başarısını göstermektedir.

Yeni karar destek sisteminin bir diğer önemli özelliği, projelerin değerlendirilmesinde entegre bir yapıya sahip olmasıdır. Hakemlerin ve yürütme kurulu üyelerinin değerlendirmelerini tek bir platform üzerinde gerçekleştirebilmeleri, değerlendirme süreçlerinin daha şeffaf ve tutarlı bir şekilde yönetilmesine olanak tanımıştır. Bu yapı, Ar-Ge projelerinin endüstriyel içeriği,

yenilikçi yönü, proje planı, altyapısı, ekonomik fayda ve ulusal kazanca dönüştürülebilirliği gibi çok yönlü kriterler ışığında detaylı bir inceleme yapılmasına olanak tanımıştır.

Bu çalışmanın bulguları, Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde nesnel ve tutarlı sonuçlar üreten bir karar destek sisteminin uygulanmasının, değerlendirme süreçlerinde anlamlı iyileşmeler sağladığını ortaya koymaktadır. Bu sistem, projeleri sınıflandırarak ve kritik değerlendirme kriterlerine göre önceliklendirerek, Ar-Ge projelerinin başarıya ulaşma olasılığını artırmış ve proje seçim süreçlerini önemli derecede iyileştirmiştir. Ancak, bu sistemin uygulanması ve değerlendirilmesinde çeşitli faktörlerin dikkate alınması gerektiği de unutulmamalıdır. Özellikle, entropi yöntemiyle ağırlıklandırılan kriterlerin zamanla güncellenmesi ve değişen koşullara uyum sağlaması gereklidir. Bu, sistemin sürdürülebilirliğini ve etkinliğini artırmak için önemlidir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu karar destek sisteminin farklı Ar-Ge programlarına entegre edilmesi ve daha geniş ölçekli uygulamalarla test edilmesi üzerine odaklanmalıdır. Ayrıca, sistemin kullanıcı dostu arayüzlerinin geliştirilmesi, hakemlerin ve diğer kullanıcıların sistemle etkileşimini artırarak değerlendirme süreçlerini daha da kolaylaştırabilir. Bu şekilde, ülkenin Ar-Ge potansiyelini en üst düzeye çıkarmak ve inovasyon kapasitesini artırmak için daha etkin bir değerlendirme süreci sağlanacaktır. Geliştirilen bu sistem, yalnızca mevcut projelerin değerlendirilmesinde değil, gelecekteki projelerin seçimi ve desteklenmesinde de kritik bir rol oynayacaktır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.N.B.	K.D.A.	M.K.	T.S.P.
K	40	30	10	20
T	40	30	10	20
Y	40	30	10	20
VTI	50	20	0	30
VAY	40	30	10	20
KT	60	30	10	0
YZ	40	30	20	10
KI	40	30	20	10
GR	40	30	20	10
PY	40	30	20	10
FA	40	30	20	10

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

TÜBİTAK TEYDEB'e çalışmalarımıza olan katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Archer NP, Ghasemzadeh F. 1999. An integrated framework for project portfolio selection, *Int J Proj Manag*, 17(4): pp: 207-216.
- Arthur D, Vassilvitskii S. 2006. k-means++: The advantages of careful seeding, *Stanford*, pp: 56-59.
- Bard JF, Balachandra R, Kaufmann PE. 1988. An interactive approach to R&D project selection and termination, *IEEE Trans Eng Manag*, 35(3): pp: 139-146.
- Beaujon GJ, Marin SP, McDonald GC. 2001. Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects, *Nav Res Logist*, 48(1): pp: 18-40.
- Bhattacharyya R, Kumar P, Kar S. 2011. Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects, *Comput Math Appl*, 62(10): pp: 3857-3870.
- Bhattacharyya R. 2015. A grey theory based multiple attribute approach for R&D project portfolio selection, *Fuzzy Inf Eng*, 7(2): pp: 211-225.
- Bitman WR, Sharif N. 2008. A conceptual framework for ranking R&D projects, *IEEE Trans Eng Manag*, 55(2): pp: 267-278.
- Bornmann L. 2011. Scientific peer review, *Annu Rev Inf Sci Technol*, 45(1): pp: 197-245.
- Cebeci Z, Cebeci C. 2020. A fast algorithm to initialize cluster centroids in fuzzy clustering applications, *Information*, 11(9): pp: 446.
- Cebeci Z, Yildiz F. 2015. Comparison of k-means and fuzzy c-means algorithms on different cluster structures, *J Agric Inform*, 6(3): pp: 15-59.
- Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units, *Eur J Oper Res*, 2(6): pp: 429-444.
- Cheng CH, Liou JJ, Chiu CY. 2017. A consistent fuzzy preference relations based ANP model for R&D project selection, *Sustainability*, 9(8): pp: 1352.
- Conka T, Vayvay O, Sennaroglu B. 2008. A combined decision model for R&D project portfolio selection, *Int J Bus Innov Res*, 2(2): pp: 190-202.
- Criscuolo P, Dahlander L, Grohsjean T, Salter A. 2017. Evaluating novelty: The role of panels in the selection of R&D projects, *Acad Manag J*, 60(2): pp: 433-460.
- Czajkowski AF, Jones S. 1986. Selecting interrelated R&D projects in space technology planning, *IEEE Trans Eng Manag*, (1): pp: 17-24.
- de Souza DGB, dos Santos EA, Soma NY, da Silva CES. 2021. MCDM-based R&D project selection: A systematic literature review, *Sustainability*, 13(21): pp: 11626.
- Demšar J, Zupan B, Leban G, Curk T. 2004. Orange: From experimental machine learning to interactive data mining, In: *Knowledge Discovery in Databases: PKDD 2004*, Pisa, Italy, 20 September 2004 - 24 September 2004, Springer Berlin Heidelberg, pp: 537-539.
- Eclipse Foundation. 2024. Eclipse IDE (Version [2023 12]), URL: <https://www.eclipse.org/ide/> (accessed date: June 28, 2024).
- Eilat H, Golany B, Shtub A. 2008. R&D project evaluation: An integrated DEA and balanced scorecard approach, *Omega*, 36(5): pp: 895-912.
- Forgy EW. 1965. Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications, *Biometrics*, 21: pp: 768-769.
- Ghazal TM. 2021. Performances of k-means clustering algorithm with different distance metrics, *Intell Autom Soft Comput*, 30(2): pp: 735-742.
- Ghasemzadeh F, Archer NP. 2000. Project portfolio selection through decision support, *Decis Support Syst*, 29(1): pp: 73-88.
- Ghorbani HR, Jolai F, Tavakkoli-Moghaddam R, Rabbani M. 2006. A comprehensive model for R&D project portfolio selection with zero-one linear goal-programming (research note), *Int J Eng*, 19(1): pp: 55-66.
- Gustafsson J, Salo A. 2005. Contingent portfolio programming for the management of risky projects, *Oper Res*, 53(6): pp: 946-956.
- Hassanzadeh F, Nemati H, Sun M. 2014. Robust optimization for interactive multiobjective programming with imprecise information applied to R&D project portfolio selection, *Eur J Oper Res*, 238(1): pp: 41-53.
- Henig MI, Katz H. 1996. R&D project selection: A decision process approach, *J Multi-Criteria Decis Anal*, 5(3): pp: 169-177.
- Henriksen AD, Traynor AJ. 1999. A practical R&D project-selection scoring tool, *IEEE Trans Eng Manag*, 46(2): pp: 158-170.
- Hesarsorkh AH, Ashayeri J, Naeini AB. 2021. Pharmaceutical R&D project portfolio selection and scheduling under uncertainty: A robust possibilistic optimization approach, *Comput Ind Eng*, 155: pp: 107114.
- Heyard R, Ott M, Salanti G, Egger M. 2022. Rethinking the funding line at the Swiss national science foundation: Bayesian ranking and lottery, *Stat Public Policy*, 9(1): pp: 110-121.
- Heydari T, Seyed Hosseini SM, Makui A. 2016. Developing and solving a one-zero non-linear goal programming model to R&D portfolio project selection with interactions between projects, *Int Bus Manag*, 10(19): pp: 4516-4521.
- Hsu YG, Tzeng GH, Shyu JZ. 2003. Fuzzy multiple criteria selection of government-sponsored frontier technology R&D projects, *R&D Manag*, 33(5): pp: 539-551.
- Hünemann P, Czarnitzki D. 2019. Estimating the causal effect of R&D subsidies in a pan-European program, *Res Policy*, 48(1): pp: 115-124.
- Isied M, Daneshvar S. 2024. A second chance for failed projects using data envelopment analysis based on project attractiveness factors, *Mathematics*, 12(23): pp: 10-15.
- Imoto S, Yabuuchi Y, Watada J. 2008. Fuzzy regression model of R&D project evaluation, *Appl Soft Comput*, 8(3): pp: 1266-1273.
- Jeng DJF, Huang KH. 2015. Strategic project portfolio selection for national research institutes, *J Bus Res*, 68(11): pp: 2305-2311.
- Kahraman C, Çağrı Tolga A. 2008. Fuzzy multiattribute evaluation of R&D projects using a real options valuation model, *Int J Intell Syst*, 23(11): pp: 1153-1176.
- Kaplan RS, Norton DP. 1992. The Balanced Scorecard: measures that drive performance, *Harvard Business Review*, January-February: pp: 71-79.
- Karami A, Johansson R. 2013. Utilization of multi attribute decision making techniques to integrate automatic and manual ranking of options, *J Inf Sci Eng*, 30(2): pp: 519-534.
- Karasakal E, Aker P. 2017. A multicriteria sorting approach based on data envelopment analysis for R&D project selection problem, *Omega*, 73: pp: 79-92.
- Karaveg C, Thawesaengskulthai N, Chandrachai A. 2015. A combined technique using SEM and TOPSIS for the commercialization capability of R&D project evaluation, *Decis Sci Lett*, 4(3): pp: 379-396.
- Ketchen DJ, Shook CL. 1996. The application of cluster analysis in

- strategic management research: an analysis and critique, *Strateg Manag J*, 17(6): pp: 441-458.
- Kumar SS. 2004. AHP-based formal system for R&D project evaluation, *Int J Proj Manag*, 22(5): pp: 423-432.
- Liberatore MJ. 1986. R&D project selection, *Telemat Inform*, 3(4): pp: 289-300.
- Liberatore MJ. 1987. An extension of the analytic hierarchy process for industrial R&D project selection and resource allocation, *IEEE Trans Eng Manag*, (1): pp: 12-18.
- Liberatore MJ. 1988. An expert support system for R&D project selection, *Math Comput Model*, 11: pp: 260-265.
- Liberatore MJ, Titus GJ. 1983. The practice of management science in R&D project management, *Manag Sci*, 29(8): pp: 962-974.
- Liu M, Yang WQS. 2023. Analysis of the advantages and disadvantages of four comprehensive evaluation methods, *Front Bus Econ Manag*, 9: pp: 162-167.
- Madey GR, Dean BV. 1985. Strategic planning for investment in R&D using decision analysis and mathematical programming, *IEEE Trans Eng Manag*, (2): pp: 84-90.
- MacQueen J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations, In: *Proc of the Fifth Berkeley Symp on Math Statist and Probab*, 1(14): pp: 281-297.
- Mardani A, Jusoh A, Zavadskas EK, Khalifah Z, Nor KM. 2015. Application of multiple-criteria decision-making techniques and approaches to evaluating of service quality: a systematic review of the literature, *J Bus Econ Manag*, 16(5): pp: 1034-1068.
- Mavrotas G, Makryvelios E. 2021. Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and Monte Carlo simulation to tackle uncertainty in R&D project portfolio selection: a case study from Greece, *Eur J Oper Res*, 291(2): pp: 794-806.
- Mavrotas G, Makryvelios E. 2023. R&D project portfolio selection using the Iterative Trichotomic Approach in order to study how subjectivity of the weights is reflected in the selected projects of the final portfolio, *Oper Res*, 23(3): pp: 50-56.
- Meade LM, Presley A. 2002. R&D project selection using the analytic network process, *IEEE Trans Eng Manag*, 49(1): pp: 59-66.
- Miyajima S, Isshiki T, Kunugi M, Uesaka S. 2022. Can we predict successful market introduction using on-going R&D evaluation data?, *fteval J Res Technol Policy Eval*, (53): pp: 153-159.
- Mohaghar A, Fathi MR, Faghih A, Turkayesh MM. 2012. An integrated approach of Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS for R&D project selection: a case study, *Aust J Basic Appl Sci*, 6(2): pp: 66-75.
- Mohanty RP, Agarwal R, Choudhury AK, Tiwari MK. 2005. A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study, *Int J Prod Res*, 43(24): pp: 5199-5216.
- Montajabiha M, Arshadi Khamseh A, Afshar-Nadjafi B. 2017. A robust algorithm for project portfolio selection problem using real options valuation, *Int J Manag Proj Bus*, 10(2): pp: 386-403.
- Oral M, Kettani O, Lang P. 1991. A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects, *Manag Sci*, 37(7): pp: 871-885.
- Oral M. 2012. Action research contextualizes DEA in a multi-organizational decision-making process, *Expert Syst Appl*, 39(7): pp: 6503-6513.
- Ömürbek N, Aksoy E. 2016. Bir petrol şirketinin çok kriterli karar verme teknikleri ile performans değerlendirmesi, *Süleyman Demirel Üniv İİBF Derg*, 21(3): pp: 25-27.
- Ramalho FD, Silva IS, Ekel PY, da Silva Martins CAP, Bernardes P, Libório MP. 2021. Multimethod to prioritize projects evaluated in different formats, *MethodsX*, 8: pp: 101371.
- Rousseauw PJ. 1987. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, *J Comput Appl Math*, 20: pp: 53-65.
- Salehi F, Al-e SMJM, Husseini SMM. 2022. A 2-phase interdependent methodology for sustainable project portfolio planning in the pharmaceutical industry, *Comput Ind Eng*, 174: pp: 108794.
- Shahapure KR, Nicholas C. 2020. Cluster quality analysis using silhouette score, In: *2020 IEEE 7th Int Conf Data Sci Adv Anal (DSAA)*, pp: 747-748.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication, *Bell Syst Tech J*, 27(3): pp: 379-423.
- Siksnyte-Butkiene I, Zavadskas EK, Streimikiene D. 2020. Multi-criteria decision-making (MCDM) for the assessment of renewable energy technologies in a household: a review, *Energies*, 13(5): pp: 1164.
- Stelmakh I, Shah N, Singh A. 2019. On testing for biases in peer review, *Adv Neural Inf Process Syst*, 32: pp: 42-56.
- Stewart TJ. 1991. A multi-criteria decision support system for R&D project selection, *J Oper Res Soc*, 42(1): pp: 17-26.
- Sun M, Barry Danfa J, Teplitskiy M. 2022. Does double-blind peer review reduce bias? Evidence from a top computer science conference, *J Assoc Inf Sci Technol*, 73(6): pp: 811-819.
- Suvvari SK. 2023. Project portfolio management: best practices for strategic alignment, *Int J Prof Bus Rev*, 8(12): pp: 1.
- Syakur MA, Khotimah BK, Rochman EMS, Satoto BD. 2018. Integration k-means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster, In: *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, 336: ID: 012017.
- Taylor BW III, Moore LJ, Clayton ER. 1982. R&D project selection and manpower allocation with integer nonlinear goal programming, *Manag Sci*, 28(10): pp: 1149-1158.
- TÜBİTAK. 2023. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Faaliyet Raporları, URL: https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/26720/tubitak_2023_yili_faaliyet_raporu.pdf (published date: March 29, 2024, accessed date: November 16, 2024).
- Wang K, Wang CK, Hu C. 2005. Analytic hierarchy process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China, *IEEE Trans Eng Manag*, 52(1): pp: 119-129.
- Wang TC, Lee HD. 2009. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights, *Expert Syst Appl*, 36(5): pp: 8980-8985.
- Wang Z, Bai S, Zhang X. 2024. A robust optimization model for R&D project portfolio risk response decision-making considering risk interaction and regret perception, *J Ind Manag Optim*, 20(12): pp: 3843-3867.
- Wu J, Liang L, Yang F, Yan H. 2009. Bargaining game model in the evaluation of decision making units, *Expert Syst Appl*, 36(3): pp: 4357-4362.
- Xu R, Wunsch D. 2008. *Clustering*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, pp: 25-30.
- Zhang H, Gu CL, Gu LW, Zhang Y. 2011. The evaluation of tourism destination competitiveness by TOPSIS & information entropy—a case in the Yangtze River Delta of China, *Tour Manag*, 32(2): pp: 443-451.