

Prioritization of R&D Project Evaluation Criteria Using Pythagorean Fuzzy AHP Method

¹Merve Yılmaz and ^{*2}Aytaç Yıldız

¹Graduate Education Institute, Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey

^{*2}Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey

Abstract

One of the key factors for businesses to ensure their long-term competitiveness is the development of new products/services. In order to do this, they need to carry out R&D projects. However, it is highly risk and uncertainty to identify innovative and high value-added projects from among the many R&D projects in their portfolio. In particular, there are many criteria in the evaluation of projects. The weights of importance given to these criteria at the evaluation stage are very critical. Therefore, the importance of objective evaluation of R&D projects is increasing day by day. In this context, evaluating R&D projects by using fuzzy multi-criteria decision-making methods that eliminate uncertainty and risks will make this process easier.

In this study, it is aimed to prioritize the criteria considered in the evaluation of R&D projects. In the study, firstly, the criteria taken into account in the evaluation of R&D projects were determined through the literature and expert opinions. Then, the criteria were prioritized by importance weights by using the Pythagorean fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which is flexible and powerful in solving the uncertainties that may arise in the evaluation of R&D projects.

Key words: R&D project, fuzzy logic, multi criteria decision making, pythagorean fuzzy AHP

Ar-Ge Projesi Değerlendirme Kriterlerinin Pisagor Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Önceliklendirilmesi

Özet

İşletmelerin uzun vadeli rekabet gücünü sağlamalarının kilit faktörlerinden biri, yeni ürünler/hizmetler geliştirmeleridir. Bunu yapabilmeleri için ise Ar-Ge projeleri yapmaları gerekmektedir. Ancak, portföylerinde bulunan birçok Ar-Ge projesi içinden yenilikçi ve katma değeri yüksek olan projeleri belirlemek yüksek düzeyde risk ve belirsizlik içermektedir. Özellikle, projelerin değerlendirilmesinde birçok kriter yer almaktadır. Değerlendirme aşamasında bu kriterlere verilen önem ağırlıkları oldukça kritik olmaktadır. Bu yüzden, Ar-Ge projelerinin objektif olarak değerlendirilmesinin önemi günümüzde gittikçe artmaktadır. Bu bağlamda, belirsizlik ve riskleri ortadan kaldıran bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesi bu sürecin daha kolay olmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan kriterlerin önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ilk olarak Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan kriterler literatür ve uzman görüşleri vasıtasıyla tespit edilmiştir. Daha sonra, Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde ortaya çıkabilecek belirsizlikleri çözmeye uygun ve güçlü bir yapıda olan Pisagor bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak kriterler önem ağırlıklarına göre önceliklendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge projesi, bulanık mantık, çok kriterli karar verme, pisagor bulanık AHP

1. Giriş

Daha hızlı teknolojik gelişme, daha kısa ürün yaşam döngüleri ve daha yoğun küresel rekabet şartları çoğu firma için mevcut rekabet ortamını değiştirmiştir [1]. Buna bağlı olarak, yüksek teknoloji endüstrilerinde faaliyet gösteren işletmelerin uzun vadeli rekabet gücü sağlamaları için sürekli iyileştirme, yeni teknolojik seviyelere yükseltme, ürün tüketici özelliklerinin geliştirilmesi, maliyetin düşürülmesi ve en önemlisi Ar-Ge faaliyetleri gibi kilit faktörlere önem vermeleri gerekmektedir [2].

Ar-Ge faaliyetleri, firmaların üretkenliğinin, büyümesinin ve rekabet gücünün belirleyicisi olarak ele alınır [3]. Bu nedenle Ar-Ge projeleri her zaman zirvede olmanın vazgeçilmez unsurlarından biri olarak görülmektedir [4]. Ar-Ge genellikle ticari olarak uygulanabilir ürün ve süreçlerin geliştirilmesine yol açan yeni fikirlerin ve kavramların iyi bir kaynağıdır. Bir organizasyonun gelecekteki pazarı ve mali durumu, büyük ölçüde seçilen Ar-Ge proje tekliflerine bağlı olabilir [5]. Bu yüzden, sanayi şirketlerindeki teknolojik gelişmeler için Ar-Ge projelerinin kilit rolü yadsınamaz [6].

Ar-Ge faaliyetlerinin firmalara birçok avantajı olmasına rağmen, firmaların kaynaklarını ayırdığı ve artan teknolojik performanstan fayda sağlamak istediği bir kara kutu olarak görülebilmektedir [7]. Çünkü Ar-Ge projeleri, doğası gereği belirsizdir. Bu yüzden, birçok proje fikrinden, firmaya en yüksek faydayı sağlayacak projeyi seçmek oldukça önemlidir. Proje seçimi, teknoloji stratejilerinin fiilen uygulanma aracı olduğu için, bir şirketin uzun vadeli başarısı genellikle proje seçim sürecinin etkinliği ile belirlenir [8]. Ar-Ge proje seçim kararı iki yönden çok önemlidir. İlk olarak, birçok kuruluşta Ar-Ge bütçesi büyük bir yatırımı temsil eder. Bu yüzden, proje seçim kararları firmanın stratejik hedefleri ve planları ile birlikte düşünülebilir. İkincisi, Ar-Ge projelerinin organizasyonel getirileri, doğası gereği çok boyutludur ve öngörülen sonuç açısından risklidir [4].

Bir Ar-Ge proje seçim problemini genel bir proje seçim probleminden (Ar-Ge olmayan) ayıran temel unsurlar, yüksek düzeyde belirsizlik ve veri yetersizliğidir. Ar-Ge proje seçimi, çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından farklı amaçlarla gerçekleştirilen karmaşık ve disiplinler arası bir süreçtir. Sonuç olarak, seçim kriterleri ve yöntemleri, paydaş türüne bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin, devlete bağlı işletmeler, sosyal refahı kârlılığın önüne koymayı tercih edebilirken, kamu fonları, faydaları optimize etmeden bütçeleri Ar-Ge projeleri arasında eşit olarak dağıtmayı hedefleyebilir. Öte yandan yatırımcılar stratejilerine göre belirli sektörlere, projelere veya şirketlere yatırım yapmayı hedefleyebilirler. Ar-Ge projeleri yürüten özel sektör şirketleri, projenin sosyal etkisinden ziyade şirket karlılığı ve proje getirisi üzerindeki etkisine odaklanabilir. Sonuç olarak, farklı öncelikleri olan tüm bu paydaşlar, Ar-Ge proje seçimi sorununu çözmek için farklı yaklaşımlar uygulamaktadır [9]. Bu çalışmada da Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin önem ağırlığına göre sıralanması amaçlanmıştır. Önerilen metodoloji ile firmalar projelerini değerlendirirken önem deresi yüksek olan kriterleri göz önünde bulundurarak, en fazla faydayı sağlayacak projeleri seçmeleri sağlanacaktır.

2. Ar-Ge Projelerini Değerlendirme Kriterleri ve Yöntemleri

Ar-Ge faaliyetleriyle uğraşan firmalar, Ar-Ge projesi değerlendirmeleri yapma sorunuyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu tür değerlendirmeler, firmanın üstlenebileceği alternatif Ar-Ge

projelerine odaklanmaktadır. Bu değerlendirmelerin sonuçları, bir organizasyonun hayatta kalması ve gelişmesi üzerinde büyük etkisi olan kararlar üzerinde doğrudan etkiye sahiptir [10]. Ancak, yüksek belirsizlikler ve riskler içeren Ar-Ge projelerinin finansman kararlarını vermek oldukça zordur [11]. Çünkü, Ar-Ge proje değerlendirmesi ve seçimi, bünyesinde birçok kriteri barındırmaktadır. Bu da bu süreci çok kriterli karar verme süreci haline getirmektedir. Tipik birçok kriterli karar analizi problemi olarak, seçim sürecinde niteliksel bilginin sıklıkla kullanılması gerekir. Farklı uzmanlardan gelen değerlendirmeler, proje seçimi için karar analizini önemli ölçüde etkileyebilecek farklı ağırlık ve güvenilirliklere sahip olabilir. Artan sayıda alternatif teklif, Ar-Ge projelerinin doğası ve seçim sürecinde yer alan uzmanların subjektif yargıları nedeniyle, ajanslar için rasyonel ve bilgilendirici proje finansman kararları vermeleri özellikle kritik ve zorlayıcı hale gelmiştir. [12]. Ar-Ge proje değerlendirmesi yapılırken karar verilecek önemli bir seçim, hangi değerlendirme yönteminin kullanılacağıdır. Çoğu zaman, sonuçların kalitesi yalnızca şirketin analitik uzmanlığına değil, aynı zamanda değerlendirme yönteminin kendisine de bağlıdır [10]. Ayrıca, çeşitli finansal, teknik ve üretim kriterleri seçim kararını etkileyebilir. Belirli kriterlerin önemi, Ar-Ge faaliyetinin türüne ve belirli bir projenin iş hedeflerini ne ölçüde desteklediğine göre değişir [5]. Bu yüzden, herhangi bir projeyi değerlendirirken belirlenecek kriterler ve değerlendirme yöntemlerinin dikkatlice seçilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında Ar-Ge projelerinin değerlendirmesiyle ilgili literatür incelenmiş ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler ve değerlendirme kriterleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ar-Ge Projelerinin Değerlendirmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Yazar(lar), Yılı	Yöntem	Kriterler
Yıldırım ve Kuzu Yıldırım [13]	Sezgisel bulanık GİA	Proje yönetimi ve yöntem yönünden yapılabirlik, altyapı ve ekipman yönünden yapılabirlik, proje ekibi yönünden yapılabirlik, proje bütçesi, yatırımın geri dönüş süresi, ar-ge riskleri, pazar riskleri, finansal riskler, zaman kısıtı, paydaş ihtiyaçları bakımından önemi, katma değer, ar-ge niteliği, ulusal/uluslararası pazarda ilk olma, akademik çıktı ve yeni buluşlara olanak sağlanması
Durmaz [14]	AHP, TOPSIS, Bulanık TOPSIS	Uygulanabilirlik, fayda, maliyet
Ranjbar vd. [15]	Bulanık matematiksel programlama	Teknik risk, politik ve sosyal risk, stratejik uyum, rekabet avantajı
Alizadeh ve Amiri [16]	AHP	Verimlilik, fizibilite, maliyet
Kısa ve Çelik [17])	Bulanık DEMATEL	Proje performansı, amaçlara uygunluk, bütçeye uygunluk, uygun süre, şartname ve planlara uyma, yönetim süreci, üst yönetim desteği, personel yeterliliği, iletişim ve geribildirim, görevlerin tanımlanması, müşteriye etki, müşteri ihtiyaçlarını karşılama, müşteri tatmini, sorun çözme, işletme başarısına katkı, ticari başarı, pazar payını genişletme, yenilik oluşturma
Jafarzadeh vd. [18]	ZQFD, Z-ARAS Z-CODAS, Z-COPRAS, Z-MABAC	Kurumsal stratejik hedeflere katkı, kullanıcılar tarafından kabul, risk
Topçu [19]	Mülakat	Projenin rekabet gücü ve ticarileşme potansiyeli, projenin teknoloji düzeyi ve ar-ge yönü, projenin yenilikçi yönü ve çekiciliği
Binici ve Aksakal [20]	UTA	Uygulanabilirlik, ticari yön, teknolojik ve inovatif yeterlilik, pazar analizi, bütçe
Kurt ve Yıldız [21]	Bulanık TOPSIS	Yeniliğin derecesi (kim için yapıldığı), yeni ürün/süreç/teknolojinin yenilik derecesi, inovasyon çeşidi, teknolojinin kullanım durumu ve gelişim yönü, farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol açma potansiyeli, firma kaynaklarının verimlilik açısından kullanım durumu, satış potansiyelinin 5 yıldaki durumu, müşteriye olan fayda, endüstrinin ya da pazarın hazırlık durumu, pazar büyümesine katkı, hedeflenen pazar, rekabet gücü, holding'in ya da holding bünyesinde bulunan şirketlerin marka imajına etkisi, öğrenme potansiyeli, hibe destekli projeye dönüşme potansiyeli, şirket vizyonu, stratejisi ve inovasyon stratejilerine uyumu, müşteri ilişkilerine olan etkisi, patent/faydalı model, literatür taraması, rakip analizi çalışmalarının yapılma durumu, projenin gerçekleştirilebilmesinin teknik zorluğu, seri üretim

		alt yapı yatırım ihtiyacı, projenin gerçekleştirilebilmesinin mevcut teknik kapasite ve ihtiyaç duyulacak teknik kapasite açısından durumu, imalat / tedarik zincirine uygunluğu, ürün/süreç farklılaştırmaya olan etkisi
Bayraktaroglu ve Kundakçı [22]	EDAS	Uygulanabilirlik, maliyet, proje riski, firmaya sağlayacağı fayda, inovatif yön
Binici [23]	UTA ve UTASTAR	Uygulanabilirlik, ticari yön, teknolojik ve inovatif yeterlilik, pazar analizi, bütçe, risk, sosyo-ekonomik fayda
Sarı [24]	Entropi Ağırlıklı TOPSIS	Proje süresi, personel sayısı, planlanan bütçe, projenin yenilikçi yönü, iyileştirme ve projenin toplam bedeli
Karasakal ve Aker [11]	DEA-AHP	Projenin ar-ge içeriği, teknolojik düzeyi ve yenilikçi yönü, proje planı, firmanın yetenekleri & firmanın altyapısının uyumluluğu, proje sonuçlarının ekonomik kar ve ulusal avantajlara uygulanabilirliği
Yıldız [25]	Bulanık VIKOR	Projenin net bugünkü değeri, geri dönüşüm oranı %, geri dönüşüm süresi, yıl, risk, büyüme beklentisi, uygulanabilirliği, firma başarısına katkısı
Ayan ve Perçin [26]	Bulanık TOPSIS	Maliyet, pazar payı, geri ödeme süresi, beklenen getiri, uygulanabilirlik, firma başarısına katkısı
Park vd. [27]	AHP	Proje yönetim planı, geliştirme planı fizibilitesi, geliştirme yeteneği ve iş altyapısı
Silva vd. [28]	AHP	Yenilik üretme potansiyeli, teknolojik olgunluk, kullanılabilirlik
Imoto vd. [29]	AHP ve Bulanık regresyon modeli	İş hedefinin uygunluğu, teknolojik zorluk, ar-ge için gerekli süre, maliyet, araştırma fonu, beklenen satış hacmi, patent alma imkânı
Mohanty vd. [30]	Bulanık ANP	Analiz için stratejik uygunluk, kapasite, teknik fizibilite, finansman, riskler, organizasyonel hazırlık (kültür), fırsat maliyetleri, proje süresi
Wang vd. [31]	Bulanık puanlama ve AHP	Ülke ekonomisine katkı, doğrudan ekonomik faydalar, yaratıcılık ve ilerleme düzeyi, teorik veya teknik katkı, teknik iyileştirme, tasarruf edilen enerji ve malzeme, dolaylı ekonomik faydalar, sosyal etki, ar-ge proje verimliliği ve ticarileştirme potansiyeli
Hsu vd. [32]	AHP	Ekonomik fayda, sosyal fayda, rekabet gücü, uygunluk, uygulanabilirlik, başarı oranı

3. Materyal Metot

Çalışmada, firmaların Ar-Ge proje önerilerini değerlendirirken; projenin endüstriyel Ar-Ge içeriği, teknoloji düzeyi ve yenilikçi yönü, proje çıktılarının ekonomik yarara ve ulusal kazanıma dönüştürülebilirliği konularında dikkate aldıkları kriterlerin önem derecelerine göre sıralanması amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, Tablo 1’de verilen literatür taramasına, 3 firmanın Ar-Ge merkezi çalışanları görüşleri ve Kurt ve Yıldız [21]’in yaptıkları çalışmaya bağlı olarak Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan kriterler belirlenmiş ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma Kapsamında Belirlenen Ar-Ge Projeleri Değerlendirme Kriterleri

Kriter No	Kriter
K1	Yenilik derecesi (Dünya, ülke, sektör ya da şirket için yeni)
K2	Yeni Ar-Ge projeleri başlatma potansiyeli
K3	Farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol açma potansiyeli
K4	Müşteriye olan faydası
K5	Endüstrinin ya da pazarın projeye hazır olma durumu
K6	Pazar büyümesine katkı
K7	Rekabet gücüne katkısı (Ulusal/Uluslararası)
K8	Ulusal/uluslararası piyasada ticarileşme potansiyeli
K9	Yüksek teknolojik ürünleri geliştirebilme düzeyi
K10	Patent/faydalı model ile sonuçlanma potansiyeli
K11	Mevcut kaynaklarla gerçekleştirilebilme durumu
K12	Ürün/süreç farklılaştırmaya olan etkisi
K13	Verimliliği artırabilme potansiyeli
K14	Projenin kurum/kuruluş vizyonu ve inovasyon stratejilerine uygunluğu

Tablo 2’de verilen kriterlerin önceliklendirilmesi için literatür taramasına bakıldığında Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde kullanılmayan Pisagor bulanık AHP yönteminin kullanılması uygun görülmüştür. Aşağıda bu yöntem kısaca açıklanmıştır.

3.1. Pisagor bulanık AHP

AHP, ilk olarak Prof. Thomas L. Saaty tarafından literatüre kazandırılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. AHP, stratejik kararları vermek için kullanılabilen güçlü bir araçtır. Karar vericilerin potansiyel alternatifleri değerlendirmek için nicel bir şekilde birden fazla kriterlerle karakterize edilen kararların alınmasına yardımcı olur ve karar hedefi bağlamında belirlendiğinde karar kriterleri arasında öncelikler belirler [33]. AHP yöntemi karar verme sürecini sistematikleştirir ve karar vericilerin doğru kararlara ulaşmasını sağlar. Karar vericinin amaca ilişkin tercihlerini doğru bir şekilde belirlemesini sağlayarak uygulamaları kolaylaştırır. Ayrıca, karar vericinin karar probleminin tanımını ve unsurlarına ilişkin anlayışını ve bilgilerini de artırır. Mevcut nitel ve nicel faktörler arasında ilişki kurularak en iyi sonucun elde edilmesini sağlar [34]. Ancak, AHP yönteminde insan düşüncelerinin tam olarak yansıtılmasında eksiklikler yaşanmaktadır. Bu eksikliği gidermek için AHP ile bulanık mantık birleştirilerek bulanık AHP ortaya çıkmıştır. Geleneksel AHP yönteminde kullanılan net değerlerin yerine, bulanık AHP yönteminde karşılaştırma oranları bir dizi değer kullanılarak belirlenir. Daha sonra, pisagor bulanık kümeleri, belirsizliği azaltmak, ya da ortadan kaldırmak için AHP yöntemine entegre edilmiştir [35]. Bu metodolojide, karar vericiler, değerlendirme için kesin bir sayı atamak yerine, dilsel terimleri ve görüşleri için daha fazla alan sağlayan ilgili pisagor bulanık sayıları kullanır [36].

Pisagor bulanık kümeleri, sezgisel bulanık kümelerin bir uzantısıdır. Bu kümeler, bazı durumlarda ise sezgisel bulanık kümeler belirsizliği ele alamaz. Bu başarı, Pisagor bulanık kümelerini belirsizlik içeren sorunları çözmek için daha güçlü ve esnek hale getirir [37]. Bulanık kümeler üyelik fonksiyonu, üye olmama fonksiyonu ve belirsizlik derecesi şeklinde ifade edilebilir. Ancak üyelik ve üyelik dışı derecesinin 1’den büyük olduğu bir durumda, sezgisel bulanık kümeler belirsizliği kaldıramaz. Pisagor bulanık kümelerinde, üyelik ve üyelik dışı derecelerin toplamı 1’den büyük olabilir, ancak bunların karelerinin toplamı olamaz.

Bu, sezgisel üye notu ve aynı zamanda Pisagor üye notu olan her nokta (x, y) için sezgisel üyelik notlarının $x + y \leq 1$ satırının altındaki tüm noktalar olduğu, pisagor üyelik notlarının ise $x^2 + y^2 \leq 1$ olan tüm noktalar olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, pisagor üyelik notları kümesi sezgisel üyelik notları kümesinden daha büyüktür. Böylelikle, pisagor bulanık kümeleri, karar vericilere sorunun belirsizliği ve kesinsizliği hakkındaki görüşlerini ifade etme konusunda daha fazla özgürlük sağlar [38]. Bu özelliklerinden dolayı bu çalışmada Pisagor bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Pisagor bulanık sayılarda karar vericilerin alternatifleri ya da kriterleri değerlendirmeleri için Tablo 3’te gösterilen ölçek kullanılmaktadır [39].

Tablo 3. Dilsel Değişkenler ve Pisagor Bulanık Sayılar

Dilsel Değişkenler	Aralıklı Pisagor Bulanık Sayılar			
	Üyelik derecesinin alt değeri	Üyelik derecesinin üst değeri	Üyelik dışı derecesinin alt değeri	Üyelik dışı derecesinin üst değeri
	(μL)	(μU)	($v L$)	($v U$)
Aşırı Düşük Önemli (AD)	0	0	0.9	1
Çok Düşük Önemli (ÇD)	0.1	0.2	0.8	0.9
Düşük Önemli (D)	0.2	0.35	0.65	0.8
Ortalamanın Altında Önemli (OA)	0.35	0.45	0.55	0.65
Ortalama Önemli (O)	0.45	0.55	0.45	0.55
Ortalamanın Üzerinde Önemli (OÜ)	0.55	0.65	0.35	0.45
Yüksek Önemli (Y)	0.65	0.8	0.2	0.35
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	0.8	0.9	0.1	0.2
Aşırı Yüksek Önemli (AY)	0.9	1	0	0
Tamamen Eşit Önemli (TE)	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965

Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [39].

Adım 1: Tablo 3'te verilen ölçüğe göre karar vericilerin kriterleri ya da alternatifleri ikili olarak karşılaştırmaları ve buna göre ikili karşılaştırma matrisinin $A = (a_{ik})_{m \times m}$ oluşturulması

Adım 2: Üyelik ve üyelik dışı fonksiyonların alt ve üst noktaları arasındaki farklar matrisinin $D = (d_{ik})_{m \times m}$ eşitlik (1) ve (2) yardımıyla hesaplanması

$$d_{ik_l} = \mu_{ik_l}^2 - v_{ik_u}^2 \quad (1)$$

$$d_{ik_u} = \mu_{ik_u}^2 - v_{ik_l}^2 \quad (2)$$

Adım 3: Eşitlik (3) ve (4) kullanılarak çarpımsal matrisin $S = (s_{ik})_{m \times m}$ hesaplanması

$$s_{ik_l} = \sqrt{1000^{d_l}} \quad (3)$$

$$s_{ik_u} = \sqrt{1000^{d_u}} \quad (4)$$

Adım 4: Eşitlik (5) yardımıyla her bir kriter için belirsizlik derecelerinin $(\tau_{ik})_{m \times m}$ hesaplanması

$$\tau_{ik} = 1 - (\mu_{ik_u}^2 - \mu_{ik_l}^2) - (v_{ik_u}^2 - v_{ik_l}^2) \quad (5)$$

Adım 5: Hem belirsizlik dereceleri hem de çarpım matrisi kullanılarak normalleştirilmemiş ağırlıkların $T = (t_{ik})_{m \times m}$ eşitlik (6) yardımıyla belirlenmesi

$$t_{ik} = \left(\frac{s_{ik_l} + s_{ik_u}}{2} \right) \tau_{ik} \quad (6)$$

Adım 6: w_i öncelik ağırlıklarının hesaplanması

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^m t_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m t_{ik}} \quad (7)$$

3.2. Ar-ge projesi değerlendirme kriterlerinin önceliklendirilmesi

Yukarıda açıklanan adımlara göre Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin önceliklendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Adım 1: Tablo 2’de verilen değerlendirme kriterleri bir firmanın Ar-Ge merkezi müdürü, Ar-Ge projeleri uzmanı ve 1 endüstri mühendisi tarafından ortak görüş doğrultusunda Tablo 3’te verilen ölçeğe göre değerlendirilerek Tablo 4’te verilen ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

Tablo 4. Değerlendirme Kriterlerine Ait İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	TE	CY	OÜ	OA	O	Y	OÜ	TE	O	OÜ	CY	OÜ	OÜ	CY
K2	CD	TE	OA	CD	D	OA	D	CD	CD	D	O	O	OA	OÜ
K3	OA	OÜ	TE	O	OA	OÜ	OA	D	D	D	OA	OÜ	OÜ	Y
K4	OÜ	CY	O	TE	OÜ	D	OA	CD	D	OÜ	D	OÜ	O	OA
K5	O	Y	OÜ	OA	TE	OÜ	D	OÜ	O	OÜ	O	Y	OÜ	O
K6	D	OÜ	OA	Y	OA	TE	OÜ	OA	OÜ	OÜ	O	TE	OÜ	O
K7	OA	Y	OÜ	OÜ	Y	OA	TE	OA	OA	OÜ	Y	OÜ	Y	Y
K8	TE	CY	Y	CY	OA	OÜ	OÜ	TE	Y	OÜ	Y	CY	Y	CY
K9	O	CY	Y	Y	O	OA	OÜ	D	TE	Y	OÜ	OÜ	Y	CY
K10	OA	Y	Y	OA	OA	OA	OA	OA	D	TE	OÜ	CY	Y	Y
K11	CD	O	OÜ	Y	O	O	D	D	OA	OA	TE	Y	Y	OÜ
K12	OA	O	OA	OA	D	TE	OA	CD	OA	CD	D	TE	O	O
K13	OA	OÜ	OA	O	OA	OA	D	D	D	D	D	O	TE	OÜ
K14	CD	OA	D	OÜ	O	O	D	CD	CD	D	OA	O	OA	TE

Adım 2: Üyelik ve üyelik dışı fonksiyonların alt ve üst noktaları arasındaki farklar matrisi eşitlik (2) ve (3) yardımıyla hesaplanarak Tablo 5-6’da verilmiştir.

Tablo 5. Üyelik ve Üyelik Dışı Fonksiyonların Alt Noktaları Arasındaki Farklar Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	0	0,6	0,1	-0,3	-0,1	0,3	0,1	0	-0,1	0,1	0,6	0,1	0,1	0,6
K2	-0,8	0	-0,3	-0,8	-0,6	-0,3	-0,6	-0,8	-0,8	-0,6	-0,1	-0,1	-0,3	0,1
K3	-0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3	0,1	0,1	0,3
K4	0,1	0,6	-0,1	0	0,1	-0,6	-0,3	-0,8	-0,6	0,1	-0,6	0,1	-0,1	-0,3
K5	-0,1	0,3	0,1	-0,3	0	0,1	-0,6	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,3	0,1	-0,1
K6	-0,6	0,1	-0,3	0,3	-0,3	0	0,1	-0,3	0,1	0,1	-0,1	0	0,1	-0,1
K7	-0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	-0,3	0	-0,3	-0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3
K8	0	0,6	0,3	0,6	-0,3	0,1	0,1	0	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,6
K9	-0,1	0,6	0,3	0,3	-0,1	-0,3	0,1	-0,6	0	0	0,1	0,1	0,3	0,6
K10	-0,3	0,3	0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,6	-0,3	0,1	0,6	0,3	0,3
K11	-0,8	-0,1	0,1	0,3	-0,1	-0,1	-0,6	-0,6	-0,3	-0,3	0	0,3	0,3	0,1
K12	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,6	0	-0,3	-0,8	-0,3	-0,8	-0,6	0	-0,1	-0,1
K13	-0,3	0,1	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,1	0	0,1
K14	-0,8	-0,3	-0,6	0,1	-0,1	-0,1	-0,6	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	-0,1	-0,3	0

Tablo 6. Üyelik ve Üyelik Dışı Fonksiyonların Üst Noktaları Arasındaki Farklar Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	0	0,8	0,3	-0,1	0,1	0,6	0,3	0	0,1	0,3	0,8	0,3	0,3	0,8
K2	-0,6	0	-0,1	-0,6	-0,3	-0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,3	0,1	0,1	-0,1	0,3
K3	-0,1	0,3	0	0,1	-0,1	0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1	0,3	0,3	0,6
K4	0,3	0,8	0,1	0	0,3	-0,3	-0,1	-0,6	-0,3	0,3	-0,3	0,3	0,1	-0,1
K5	0,1	0,6	0,3	-0,1	0	0,3	-0,3	0,3	0,1	0,3	0,1	0,6	0,3	0,1
K6	-0,3	0,3	-0,1	0,6	-0,1	0	0,3	-0,1	0,3	0,3	0,1	0	0,3	0,1

K7	-0,1	0,6	0,3	0,3	0,6	-0,1	0	-0,1	-0,1	0,3	0,6	0,3	0,6	0,6
K8	0	0,8	0,6	0,8	-0,1	0,3	0,3	0	0,6	0,3	0,6	0,8	0,6	0,8
K9	0,1	0,8	0,6	0,6	0,1	-0,1	0,3	-0,3	0	0,6	0,3	0,3	0,6	0,8
K10	-0,1	0,6	0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	0	0,3	0,8	0,6	0,6
K11	-0,6	0,1	0,3	0,6	0,1	0,1	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	0	0,6	0,6	0,3
K12	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,3	0	-0,1	-0,6	-0,1	-0,6	-0,3	0	0,1	0,1
K13	-0,1	0,3	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,1	0	0,3
K14	-0,6	-0,1	-0,3	0,3	0,1	0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,3	-0,1	0,1	-0,1	0

Adım 3: Eşitlik (3 ve (4) kullanılarak çarpımsal matris hesaplanmış ve Tablo 7-8’de verilmiştir.

Tablo 7. Üyelik ve Üyelik Dışı Fonksiyonların Alt Noktalarına Ait Çarpımsal Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	1,00	7,94	1,41	0,35	0,71	2,82	1,41	1,00	0,71	1,41	7,94	1,41	1,41	7,94
K2	0,06	1,00	0,35	0,06	0,13	0,35	0,13	0,06	0,06	0,13	0,71	0,71	0,35	1,41
K3	0,35	1,41	1,00	0,71	0,35	1,41	0,35	0,13	0,13	0,13	0,35	1,41	1,41	2,82
K4	1,41	7,94	0,71	1,00	1,41	0,13	0,35	0,06	0,13	1,41	0,13	1,41	0,71	0,35
K5	0,71	2,82	1,41	0,35	1,00	1,41	0,13	1,41	0,71	1,41	0,71	2,82	1,41	0,71
K6	0,13	1,41	0,35	2,82	0,35	1,00	1,41	0,35	1,41	1,41	0,71	1,00	1,41	0,71
K7	0,35	2,82	1,41	1,41	2,82	0,35	1,00	0,35	0,35	1,41	2,82	1,41	2,82	2,82
K8	1,00	7,94	2,82	7,94	0,35	1,41	1,41	1,00	2,82	2,82	2,82	7,94	2,82	7,94
K9	0,71	7,94	2,82	2,82	0,71	0,35	1,41	0,13	1,00	1,00	1,41	1,41	2,82	7,94
K10	0,35	2,82	1,41	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,13	0,35	1,41	7,94	2,82	2,82
K11	0,06	0,71	1,41	2,82	0,71	0,71	0,13	0,13	0,35	0,35	1,00	2,82	2,82	1,41
K12	0,35	0,71	0,35	0,35	0,13	1,00	0,35	0,06	0,35	0,06	0,13	1,00	0,71	0,71
K13	0,35	1,41	0,35	0,71	0,35	0,35	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,71	1,00	1,41
K14	0,06	0,35	0,13	1,41	0,71	0,71	0,13	0,06	0,06	0,13	0,35	0,71	0,35	1,00

Tablo 8. Üyelik ve Üyelik Dışı Fonksiyonların Üst Noktalarına Ait Çarpımsal Matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	1,00	15,85	2,82	0,71	1,41	7,94	2,82	1,00	1,41	2,82	15,85	2,82	2,82	15,85
K2	0,13	1,00	0,71	0,13	0,35	0,71	0,35	0,13	0,13	0,35	1,41	1,41	0,71	2,82
K3	0,71	2,82	1,00	1,41	0,71	2,82	0,71	0,35	0,35	0,35	0,71	2,82	2,82	7,94
K4	2,82	15,85	1,41	1,00	2,82	0,35	0,71	0,13	0,35	2,82	0,35	2,82	1,41	0,71
K5	1,41	7,94	2,82	0,71	1,00	2,82	0,35	2,82	1,41	2,82	1,41	7,94	2,82	1,41
K6	0,35	2,82	0,71	7,94	0,71	1,00	2,82	0,71	2,82	2,82	1,41	1,00	2,82	1,41
K7	0,71	7,94	2,82	2,82	7,94	0,71	1,00	0,71	0,71	2,82	7,94	2,82	7,94	7,94
K8	1,00	15,85	7,94	15,85	0,71	2,82	2,82	1,00	7,94	2,82	7,94	15,85	7,94	15,85
K9	1,41	15,85	7,94	7,94	1,41	0,71	2,82	0,35	1,00	7,94	2,82	2,82	7,94	15,85
K10	0,71	7,94	2,82	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,35	1,00	2,82	15,85	7,94	7,94
K11	0,13	1,41	2,82	7,94	1,41	1,41	0,35	0,35	0,71	0,71	1,00	7,94	7,94	2,82
K12	0,71	1,41	0,71	0,71	0,35	1,00	0,71	0,13	0,71	0,13	0,35	1,00	1,41	1,41
K13	0,71	2,82	0,71	1,41	0,71	0,71	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	1,41	1,00	2,82
K14	0,13	0,71	0,35	2,82	1,41	1,41	0,35	0,13	0,13	0,35	0,71	1,41	0,71	1,00

Adım 4: Tablo 9’da eşitlik (5) yardımıyla hesaplanan her bir kriter için belirsizlik dereceleri verilmiştir.

Tablo 9. Kriterlere Ait Belirsizlik Dereceleri

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
K2	0,80	1,00	0,80	0,80	0,70	0,80	0,70	0,80	0,80	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80
K3	0,80	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,70

K4	0,80	0,80	0,80	1,00	0,80	0,70	0,80	0,80	0,70	0,80	0,70	0,80	0,80	0,80
K5	0,80	0,70	0,80	0,80	1,00	0,80	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	0,80	0,80
K6	0,70	0,80	0,80	0,70	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	0,80	0,80
K7	0,80	0,70	0,80	0,80	0,70	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,70	0,80	0,70	0,70
K8	1,00	0,80	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	0,70	0,80	0,70	0,80	0,70	0,80
K9	0,80	0,80	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,70	1,00	0,70	0,80	0,80	0,70	0,80
K10	0,80	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	1,00	0,80	0,80	0,70	0,70
K11	0,80	0,80	0,80	0,70	0,80	0,80	0,70	0,70	0,80	0,80	1,00	0,70	0,70	0,80
K12	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	1,00	0,80	0,80
K13	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,80	1,00	0,80
K14	0,80	0,80	0,70	0,80	0,80	0,80	0,70	0,80	0,80	0,70	0,80	0,80	0,80	1,00

Adım 5: Normalleştirilmemiş ağırlıklar eşitlik (6) yardımıyla hesaplanarak Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Normalleştirilmemiş Ağırlıklar

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14
K1	1,00	9,52	1,69	0,43	0,85	3,77	1,69	1,00	0,85	1,69	9,52	1,69	1,69	9,52
K2	0,08	1,00	0,43	0,08	0,17	0,43	0,17	0,08	0,08	0,17	0,85	0,85	0,43	1,69
K3	0,43	1,69	1,00	0,85	0,43	1,69	0,43	0,17	0,17	0,17	0,43	1,69	1,69	3,77
K4	1,69	9,52	0,85	1,00	1,69	0,17	0,43	0,08	0,17	1,69	0,17	1,69	0,85	0,43
K5	0,85	3,77	1,69	0,43	1,00	1,69	0,17	1,69	0,85	1,69	0,85	3,77	1,69	0,85
K6	0,17	1,69	0,43	3,77	0,43	1,00	1,69	0,43	1,69	1,69	0,85	1,00	1,69	0,85
K7	0,43	3,77	1,69	1,69	3,77	0,43	1,00	0,43	0,43	1,69	3,77	1,69	3,77	3,77
K8	1,00	9,52	3,77	9,52	0,43	1,69	1,69	1,00	3,77	2,25	3,77	9,52	3,77	9,52
K9	0,85	9,52	3,77	3,77	0,85	0,43	1,69	0,17	1,00	3,13	1,69	1,69	3,77	9,52
K10	0,43	3,77	1,69	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,17	0,68	1,69	9,52	3,77	3,77
K11	0,08	0,85	1,69	3,77	0,85	0,85	0,17	0,17	0,43	0,43	1,00	3,77	3,77	1,69
K12	0,43	0,85	0,43	0,43	0,17	1,00	0,43	0,08	0,43	0,08	0,17	1,00	0,85	0,85
K13	0,43	1,69	0,43	0,85	0,43	0,43	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,85	1,00	1,69
K14	0,08	0,43	0,17	1,69	0,85	0,85	0,17	0,08	0,08	0,17	0,43	0,85	0,43	1,00

Adım 6: Eşitlik (7) kullanılarak her kritere ait önem ağırlıkları hesaplanmış ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Kriterlerin Ağırlıkları ve Öncelik Sıralaması

Kriterler	Normalleştiril- memiş ağırlıklar	Normalleştiril- miş öncelik ağırlıkları	Sıra
Yenilik derecesi (Dünya, ülke, sektör ya da şirket için yeni)	44,90	0,138	2
Yeni Ar-Ge projeleri başlatma potansiyeli	6,47	0,020	14
Farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol açma potansiyeli	14,59	0,045	10
Müşteriye olan faydası	20,41	0,063	7
Endüstrinin ya da pazarın projeye hazır olma durumu	20,98	0,064	6
Pazar büyümesine katkı	17,37	0,053	9
Rekabet gücüne katkısı (Ulusal/Uluslararası)	28,30	0,087	4
Ulusal/uluslararası piyasada ticarileşme potansiyeli	61,20	0,188	1
Yüksek teknolojik ürünleri geliştirebilme düzeyi	41,83	0,128	3
Patent/faydalı model ile sonuçlanma potansiyeli	27,60	0,085	5
Mevcut kaynaklarla gerçekleştirilebilme durumu	19,49	0,060	8
Ürün/süreç farklılaştırmaya olan etkisi	7,16	0,022	13
Verimliliği artırabilme potansiyeli	8,62	0,026	11

Projenin kurum/kuruluş vizyonu ve inovasyon stratejilerine uygunluğu	7,24	0,022	12
--	------	-------	----

Tablo 11 incelendiği zaman “Ulusal/uluslararası piyasada ticarileşme potansiyeli” kriterinin 0,188’lik ağırlık değeriyle Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesindeki en önemli kriter olduğu görülmektedir. “Projenin yenilik derecesi” ikinci, “yüksek teknolojik ürünleri geliştirebilme düzeyi” ise üçüncü önemli kriter olarak karşımıza çıkmıştır. “Yeni Ar-Ge projeleri başlatma potansiyeli” ise son sırada yer alan kriter olarak belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Günümüz üretim paradigmasında tüm rekabet koşulları değiştiğinden dolayı firmaların ayakta kalabilmeleri için mutlaka Ar-Ge faaliyetleri yapmaları ve bu faaliyetlerini inovasyona dönüştürmeleri neredeyse zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, firmaların kendilerine maksimum faydayı sağlayacak projelere yönelmeleri gerekmektedir. Ancak, birçok proje önerisi içerisinden hangi projenin firma için en uygun olduğunun belirlenmesi süreci oldukça zordur. Çünkü, Ar-Ge projeleri yapısı gereği dinamik ve belirsizlik taşımaktadır. Bunlara ek olarak değerlendirilmesi için birçok kriter bulunmaktadır. Bu yüzden, projelerin değerlendirilmesi aşamasında bulanık kümeleri kullanarak belirsizlikleri ortadan kaldıran yöntemlerin kullanılması fayda sağlamaktadır. Ayrıca, değerlendirme aşamasında kullanılan birçok kriter arasından hangisinin daha önemli olduğu belirlenerek daha gerçekçi kriterlerle de değerlendirme yapılması en uygun projelerin seçilmesini kolaylaştıracaktır.

Yapılan çalışmada, firmaların Ar-Ge proje önerilerini değerlendirirken dikkate aldıkları kriterler, Pisagor bulanık AHP yöntemi kullanılarak önem derecelerine göre sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında “Ulusal/uluslararası piyasada ticarileşme potansiyeli” kriteri en önemli kriter olarak tespit edilmiştir. Ar-Ge projelerinin nihai hedefinin ekonomik olduğu düşünülürse bu sonucun anlamlı olduğu görülmektedir. İkinci en önemli olarak karşımıza çıkan “Yenilik derecesi” kriteri ise yine Ar-Ge projesinin bir inovasyona dönüşme potansiyeli olması gerektiğini ifade etmektedir.

Yapılan çalışmanın sonuçlarını baktığımızda, firmaların yaptıkları Ar-Ge projelerinin sadece araştırma-geliştirme ile sınırlı kalmamasını sağlayan kriterlerle değil ticarileşerek inovasyona dönmelerini sağlayacak kriterlerle değerlendirilmesi gerektiğini görmekteyiz. Bu yüzden, firmalar inovasyona dönüşecek ve ekonomik getiri sağlayacak Ar-Ge projelerini belirlemek için çalışmada kullanılan kriterleri ve yöntemi kullanabilirler.

Kaynaklar

- [1] Cassiman B, Di Guardo C, Valentini G. The organization and performance evaluation of R&D projects in a dynamic environment. IESE Business School Working 2005;605.
- [2] Golovkova MG, Lashmanova NV, Kossukhina MA. Efficiency evaluation of innovative projects for enterprises of high-tech industries. In 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM) 2016;531-533.

- [3] Salimi N, Rezaei J. Evaluating firms' R&D performance using best worst method. *Evaluation and program planning* 2018; 66:147-155.
- [4] Çağrı Tolga A, Kahraman C. Fuzzy multiattribute evaluation of R&D projects using a real options valuation model. *International Journal of Intelligent Systems* 2008; 23(11):1153-1176.
- [5] Liberatore MJ. A decision support approach for R&D project selection. In *The Analytic Hierarchy Process* 1989; 82-100, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Lizarralde R, Ganzarain J, Zubizarreta M. Adaptation of the MIVES method for the strategic selection of new technologies at an R&D centre. Focus on the manufacturing sector. *Technovation* 2022; 115: 102462.
- [7] Vernet M, Arasti MR. Linking business strategy to technology strategies: a prerequisite to the R&D priorities determination. *International Journal of Technology Management* 1999; 18(3-4); 293-307.
- [8] Schmidt RL, Freeland JR. Recent progress in modeling R&D project-selection processes. *IEEE Transactions on Engineering Management* 1992; 39(2): 189-201.
- [9] Turkmen GF, Topcu YI. Research and development project selection: a comprehensive analysis of the trends and methods. *South African Journal of Industrial Engineering* 2021; 32(4): 28-43.
- [10] Poh KL, Ang BW, Bai F. A comparative analysis of R&D project evaluation methods. *r&D Management* 2001; 31(1): 63-75.
- [11] Karasakal E, Aker P. A multicriteria sorting approach based on data envelopment analysis for R&D project selection problem. *Omega* 2017; 73: 79-92.
- [12] Liu F, Chen YW, Yang JB, Xu DL, Liu W. Solving multiple-criteria R&D project selection problems with a data-driven evidential reasoning rule. *International Journal of Project Management* 2019; 37(1): 87-97.
- [13] Yıldırım BF, Kuzu Yıldırım S, Ar-ge proje seçim süreci için yeni bir entegre sezgisel bulanık grup karar verme yaklaşımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2022; 10(2): 643-653.
- [14] Durmaz Ç. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak sürekli iyileştirme projelerinin seçimi ve önceliklendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi 2022.
- [15] Ranjbar M, Nasiri MM, Torabi SA. Multi-mode project portfolio selection and scheduling in a build-operate-transfer environment. *Expert Systems with Applications* 2022; 189:116134.
- [16] Alizadeh P, Amiri M. A decision support approach for financial policy measures selection. *Journal of Science and Technology Policy Management* 2022; (ahead-of-print).
- [17] Kısa ACG, Çelik P. Bulanık dematel yaklaşımı ile proje başarısına etki eden kritik faktörlerin değerlendirilmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi* 2022; 23(1): 71-86.
- [18] Jafarzadeh H, Heidary-Dahooie J, Akbari P, Qorbani A. A project prioritization approach considering uncertainty, reliability, criteria prioritization, and robustness. *Decision Support Systems* 2022; 156: 113731.

- [19] Topçu B. *Teknoparklarda Ar-Ge projesi değerlendirme süreci: model önerisi* (Doctoral dissertation, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı) 2021.
- [20] Binici E, Aksakal E. Ar-Ge proje seçim problemine yeni bir yaklaşım ve çözüm önerisi: UTA yöntemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2020; 26(1): 211-226.
- [21] Kurt ZB, Yıldız A. Ar-ge/inovasyon projelerinin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için fuzzy TOPSIS tabanlı karar modeli. *Electronic Letters on Science and Engineering* 2020; 16(2): 93-107.
- [22] Bayrakdaroğlu FK, Kundakci N. Bulanık EDAS yöntemi ile ar-ge projesi seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi* 2019;(24): 151-170.
- [23] Binici E. *Ar-Ge proje seçim sürecinin fayda temelli değerlendirilmesi: UTA ve UTASTAR yöntemleri ile bir uygulama* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü) 2019.
- [24] Sarı EB. Endüstri işletmelerinde ar-ge projelerini öncelik sıralamasında ENTROPİ ağırlıklı TOPSIS yöntemine dayalı çok kriterli bir analiz. *International Journal of Academic Value Studies* 2017; 3(11): 159-170.
- [25] Yıldız A. Bulanık VIKOR yöntemini kullanarak proje seçim sürecinin incelenmesi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2014; 14(1): 115-127.
- [26] Ayan TY, Perçin S. Ar-ge projelerinin seçiminde grup kararına dayalı bulanık karar verme yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 2012; 26(2): 237-255.
- [27] Park S, Hong YW, Na JK. A method for selecting the evaluation index of defence R&D project by AHP. *Journal of the Korean Data and Information Science Society* 2012; 23(5): 961-970.
- [28] Silva AC, Belderrain MCN, Pantoja FCM. Prioritization of R&D projects in the aerospace sector: AHP method with ratings. *Journal of Aerospace Technology and Management* 2010; 2:339-348.
- [29] Imoto S, Yabuuchi Y, Watada J. Fuzzy regression model of R&D project evaluation. *Applied Soft Computing* 2008; 8(3): 1266-1273.
- [30] Mohanty RP, Agarwal R, Choudhury AK, Tiwari MK. A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study. *International Journal of Production Research* 2005; 43(24): 5199-5216.
- [31] Wang K, Wang CK, Hu C. Analytic hierarchy process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China. *IEEE Transactions on Engineering Management* 2005;52(1): 119-129.
- [32] Hsu YG, Tzeng GH, Shyu JZ. Fuzzy multiple criteria selection of government-sponsored frontier technology R&D projects. *R&D Management* 2003; 33(5): 539-551.
- [33] Işıklar G, Büyüközkan G. Using a multi-criteria decision-making approach to evaluate mobile phone alternatives. *Computer Standards & Interfaces* 2007; 29(2): 265-274.
- [34] Alkan N. *Yalın tedarik zinciri kapsamında sanayi 4.0 için sektörel önceliklendirmenin bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımıyla analizi*. Master's thesis YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü 2019.

- [35] Yıldız A, Ayyıldız E, Gümüş AT, Özkan C. Ülkelerin yaşam kalitelerine göre değerlendirilmesi için hibrit pisagor bulanık AHP-TOPSIS metodolojisi: Avrupa Birliği örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 17:1383-1391.
- [36] Ayyıldız E, Gumus AT. Pythagorean fuzzy AHP based risk assessment methodology for hazardous material transportation: an application in Istanbul. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 1-13.
- [37] Yucesan, M, Gul, M. Hospital service quality evaluation: an integrated model based on Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. *Soft Computing*, 2020; 24(5): 3237-3255.
- [38] Shete PC, Ansari ZN, Kant R. A Pythagorean fuzzy AHP approach and its application to evaluate the enablers of sustainable supply chain innovation. *Sustainable Production and Consumption* 2020; 23: 77-93.
- [39] Karasan A, Ilbahar E, Kahraman C. A novel pythagorean fuzzy AHP and its application to landfill site selection problem. *Soft Computing* 2019; 23(21): 10953-10968.