

Fuzzy TOPSIS Based Decision Model for Evaluating and Prioritizing R&D / Innovation Projects

Zeynep Begüm KURT¹, Aytaç YILDIZ^{2*}

¹Toksan Automotive Inc. R&D Center, Bursa, Turkey
[0000-0002-7166-3130, zkurt@toksanotomotiv.com](mailto:zkurt@toksanotomotiv.com)

²Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey
[0000-0002-0729-633X, aytac.yildiz@btu.edu.tr](mailto:aytac.yildiz@btu.edu.tr)

Abstract: Innovation offers products and services that benefit customers by revealing the innovation capabilities of companies. In this respect, it is one of the processes that collects the feature of being the lifeblood of companies and is also difficult to manage. In this context, in order for the innovation processes carried out within the company to be successful, the company should focus on the right projects that it really needs and select the project that will provide the most benefit among them. However, since project selection can involve many interdependent decisions it has to be done with highly structured and model-based methods.

In this study, it is aimed to create a decision model for the project portfolio by evaluating and prioritizing the R&D / innovation project proposals submitted to the R&D Center of Toksan Automotive Inc., which operates in the automotive supplier industry. For the model, 23 criteria used in the evaluation of projects and 97 scales belonging to these criteria are determined. The verbal expressions of these criteria and scales are evaluated and fixed according to the fuzzy TOPSIS method, which enables the evaluation of both qualitative and quantitative criteria in fuzzy environments, and thus subjective evaluations of decision makers were minimized. Afterwards, a macro is written in Microsoft Excel according to the fuzzy TOPSIS method and a decision model was created. Five R&D/Innovation project proposals, which the company evaluated and prioritized according to the method previously used, are evaluated according to the model created. At the end of the evaluation, it is determined that the priorities made are the same. It is decided to apply this model, which evaluates the projects in multiple ways and minimizes subjective evaluations, to create a project portfolio in the company.

Keywords: R&D, innovation, project selection, fuzzy TOPSIS

Ar-Ge/İnovasyon Projelerinin Değerlendirilmesi ve Önceliklendirilmesi İçin Bulanık TOPSIS Tabanlı Karar Modeli

Özet: İnovasyon, firmaların yenilikçilik kabiliyetlerini ortaya çıkararak müşterilere fayda yaratan ürün ve hizmetleri sunmaktadır. Bu yönüyle firmaların can damarı olma özelliğini kendinde toplayan ve aynı zamanda yönetilmesi zor olan süreçlerden biridir. Bu bağlamda, firma içerisinde yürütülen inovasyon süreçlerinin başarıya ulaşabilmesi için, firmanın gerçekten ihtiyacı olan doğru projelere odaklanması ve bunlar arasından en fazla fayda sağlayacak projeyi seçmesi gerekmektedir. Ancak proje seçimi, çok sayıda birbirine bağlı karar içerebileceğinden, yüksek düzeyde yapılandırılmış ve belli bir modele dayalı yöntemlerle yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren Toksan Otomotiv A.Ş. firmasının Ar-Ge Merkezine sunulan Ar-Ge/İnovasyon proje önerilerinin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi yapılarak proje portföyü için bir karar modeli oluşturmak amaçlanmıştır. Model için projelerin değerlendirilmesinde kullanılan 23 kriter ve bu kriterlere ait 97 ölçek belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterler ve ölçeklerin sözel ifadeleri bulanık ortamlarda hem nitel hem de nicel kriterlerin değerlendirilmesini sağlayan bulanık TOPSIS yöntemine göre değerlendirilerek sabitlenmiş ve böylelikle karar vericilerin subjektif değerlendirmeleri en aza indirilmiştir. Sonrasında, bulanık TOPSIS yöntemine göre Microsoft Excel'de makro yazılmış ve karar modeli oluşturulmuştur. Firmanın daha önce kullandığı yöntemlere göre değerlendirdiği ve önceliklendirdiği, beş adet Ar-Ge/İnovasyon proje önerisi, oluşturulan modele göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonunda yapılan önceliklendirmelerin aynı olduğu tespit edilmiş ve projeleri çok yönlü değerlendiren ve subjektif değerlendirmeleri en aza indiren bu modelin, firmada proje portföyü oluşturmak için uygulanmasına karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge, inovasyon, proje seçimi, bulanık TOPSIS

Reference to this paper should be made as:

Zeynep Begüm KURT, Aytaç YILDIZ, 'Fuzzy TOPSIS Based Decision Model for Evaluating and Prioritizing R&D / Innovation Projects', Elec Lett Sci Eng , vol. 16(2), (2020), 93-107

1. Giriş

Piyasaların küreselleşmesi ve yeni iş uygulamaları, şirketleri rekabet stratejilerini yeniden gözden geçirmeye sevk etmektedir [1]. Firmanın ürün geliştirme ve yeni ürünleri başarılı bir şekilde piyasaya sürme kapasitesi ise bir firmanın rekabet avantajını sürdürmesinde çok önemli bir belirleyici olarak görülmüştür [2]. Daha kısa ürün yaşam döngülerine ek olarak teknolojilerin artan karmaşıklığı da firmaları bir strateji kaynağı olarak Ar-Ge'ye ve dolayısıyla da inovasyona güvenmeye zorlamaktadır [1]. Çünkü Ar-Ge ve inovasyon, firma performansının ve büyümesinin temel itici gücü olarak rekabet avantajı sağlamaktadırlar [3, 4].

İnovasyon en genel anlamda, organizasyon için yeni olan bir fikir veya davranışın benimsenmesidir [5]. İnovasyon, Türkçe'de yenilik/yenileşim anlamına gelmektedir. Yenilik ise ürünlerin, süreçlerin veya yeni hizmetlerin oluşturulması, geliştirilmesi ve başarılı bir şekilde pazara sunulmasıdır [6, 7]. İnovasyon yeni bir ürün, yeni bir hizmet veya yeni bir teknoloji olabilir [5]. Ürün inovasyonu ise, pazarlama veya geliştirilmiş ürünle ilgili endüstriyel tasarım, yönetim, Ar-Ge, üretim ve ekonomik faaliyetleri içeren bir süreçtir [3]. Yeni ürün veya hizmetlerin geliştirilmesinin temelinde, çoğu durumda bir modele yerleştirilmiş bir inovasyon süreci yatmaktadır [5]. Bu yüzden, her firma varoluş gününden oyuncu olarak sektörde kaldığı tüm süre boyunca bir inovasyon sürecine sahip olmalıdır. Bir ürün büyüme aşamasına girdiğinde firmanın piyasaya arz için üründe bir değişiklik yapması gerekecek ve belirlemiş olduğu inovasyon süreci ile diğer şirketlerin üretim için ulaştığı teknolojinin önünü kesecektir. Bu açıdan bakıldığında, inovasyon kuruluşlar için bir başarı anahtarı olarak görülmektedir [8].

İnovasyonlar, artımlı veya radikal olmak üzere temelde ikiye ayrılmaktadır [5]. Mevcut ürünlerdeki iyileştirmeler anlamına gelen artımlı inovasyonlar, firmaların karlılığını artırırken, yeni gelir akışları yaratan yeni ürünleri tanımlayan radikal inovasyonlar ise firmaların büyümesini hızlandırır. Radikal yenilikler yüksek risk / getiri profillerine ve uzun vadeli ufuklara sahipken, artımlı yenilikler daha az riskli olduğundan ve kısa vadede getiri sunduğundan çoğu firma aynı anda firmanın inovasyon portföyü olarak adlandırılan birden fazla artımlı ve radikal inovasyon projesini takip etmektedir. Yöneticiler, stratejik hedeflerine ve çevresel koşullara uygun olarak artımlı ve radikal inovasyonların uygun bir karışımını sürdürmek için firmalarının inovasyon portföylerini rutin olarak ayarlamaktadırlar [4]. Ancak, firmaların proje portföylerini oluşturmaları için önerilen projelerden en iyisini seçmeleri gerekmektedir ve bu seçim süreci oldukça karmaşık ve zordur.

Bu çalışmada, otomotiv yan sanayisinde faaliyet gösteren Toksan Otomotiv A.Ş.'nin Ar-Ge Merkezine yapılan proje önerilerinin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için bir karar modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla bulanık ortamlarda karar vermeyi kolaylaştıran bulanık TOPSIS yönteminin algoritması kullanılarak Microsoft Excel'de makro yazılarak değerlendiricilerin daha kolay ve hassas bir şekilde değerlendirilmeleri sağlanarak projelerin önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Çalışmanın bundan sonraki ikinci bölümünde Ar-Ge/inovasyon projelerinin değerlendirilmesi ve seçimi ile ilgili literatür çalışması yapılmış, üçüncü bölümde materyal-metot bölümüne yer verilmiş, dördüncü bölümde elde edilen bulgular açıklanmış ve son bölümde sonuç ve değerlendirmeye yer verilmiştir.

2. Ar-Ge/İnovasyon Projelerinin Değerlendirilmesi ve Seçimi

Günümüzde, yeni rakipler, sonsuz teknoloji yeniliği ve dinamik müşteri talepleri ürün yaşam döngüsünü önemli ölçüde kısaltmıştır [9]. Bu yüzden, firmaların sürekli var olması ve büyümesi

için yüksek etkiye sahip başarılı Ar-Ge ve inovasyon projeleriyle inovatif ürün ve hizmetler geliştirmeleri gerekmektedir [9, 10]. İnovatif ürünler ve hizmetleri ortaya çıkarmak için yapılan başarılı inovasyon projelerinin karmaşık yönetim süreçleri gerektirmesine ve yüksek risk içermesine rağmen büyük kar ve rekabet avantajı sağladığı görülmektedir [9]. Buna bağlı olarak, şiddetli rekabet ortamındaki firmalar daha yüksek kar ile yaşamlarını devam ettirebilmek için Ar-Ge ve inovasyon projelerine yönelmişlerdir [11]. Uzun teslim zamanı, pazardaki ve iş ortamındaki değişkenlik (müşteri beklentileri, şirket stratejileri, çevresel faktörler, teknolojik gereksinim vb.) ve eldeki bilginin proje ilerledikçe değişmesi ise Ar-Ge ve inovasyon projelerini ekstra karmaşık hale getirmiştir [9, 12, 13]. Çok hızlı değişen ekonomik şartlar altında firmalar, hangi Ar-Ge ve inovasyon projelerine yatırım yapılacağı konusunda düzenli kararlar almak zorundadır. Ar-Ge ve inovasyon proje portföy yönetimi başlığı altında değerlendirilen bu tip kararlar şirketlerin karlılığı, sürdürülebilirliği ve büyümesi üzerinde direkt etkiye sahiptir [14]. Doğru projenin seçimi organizasyonun başarısı bakımından kritik öneme sahip olduğu gibi seçimde yapılacak hata, kaynakların uygun olmayan projelere harcanmasına ve dolayısıyla organizasyon için daha fazla fayda sağlayacak projeler için kaynak yetersizliğine sebep olacaktır [15]. Bu yüzden, proje seçimi araştırma ve geliştirme organizasyonlarında kritik bir yönetim faaliyetidir [16]. Proje seçim problemi, bir dizi alternatif (projeler ve önerilen projeler) göz önüne alındığında, sonuçta ortaya çıkan programın bir firmaya fayda katkısını maksimize edecek alternatiflere kaynak tahsisini belirleyen bir sorun olarak tanımlanmıştır. Değerlendirilen projelerin sayısı üç geniş kategoriye ayrılabilir: (i) yalnızca bir yeniliğin dikkate alındığı tek bir proje, (ii) yeniliklerin zamana yayıldığı bir dizi proje ve (iii) iki veya daha fazla farklı yeniliğin aynı anda değerlendirildiği bir proje portföyü [7]. İnovasyon proje seçimi, proje portföyünün değerini kaynak kısıtlamaları aralığında en üst düzeye çıkarmayı amaçlamakta [18] ve projelerin optimal bir sıralamasına ulaşmak için bir dizi projenin eşzamanlı olarak karşılaştırılmasını içermektedir [19]. Proje seçim sürecinde yöneticinin karşılaştığı en zor görevin, özellikle karar dinamik ortamda ve rekabet baskısı altında verilecekse, projeyi en iyi potansiyel karlılıkla taramak ve firmaların hedefini karşılamaktır. Bu nedenle firmaların rekabet avantajı yaratması için iyi bir proje portföyü son derece önemlidir. Firmaların çözmesi gereken sorunun, kaynak kısıtlamaları dahilinde çok sayıda inovasyon projesinden en iyi projeyi seçmek olduğu, dolayısıyla etkili bir kaynak tahsisi sistemine çok ihtiyaç duyulduğu kabul edilmiştir. Diğer bir deyişle, müşteri ihtiyaçlarını karşılarken, iş stratejisine uygun ve fizibilitesi yüksek olanların nihai olarak seçilebilmesini sağlamak için bir inovasyon proje yönetim sistemi kurulmalıdır [9]. Proje seçimi, karmaşık koşullarda çok sayıda birbirine bağlı kararı içerebildiğinden, araştırmacılara yüksek düzeyde yapılandırılmış, model tabanlı karar destek araçları geliştirmeleri için verimli bir zemin sağlamıştır [16]. İnovasyon proje kararları gelecekteki olaylar ve fırsatlarla ilgilenir ve proje kararlarını almak için gereken bilgilerin çoğu belirsiz ve en kötü ihtimalle güvenilmezdir. Bu tür belirsiz durumlarda, karar vericiler kesin yargılarda bulunamayabilir veya isteksiz olabilirler [20]. Bu yüzden, inovasyon proje değerlendirmesindeki belirsizliği dikkate alan ve her projenin kesinlik derecesine ilişkin bilgileri nihai çıktı olarak veren, böylece nihai proje portföyün sağlamlığına katkıda bulunan yöntemler gerekmektedir [10]. Literatürde nitel ve nicel yaklaşımlar dahil birçok Ar-Ge ve inovasyon proje seçim modeli ve tekniği ortaya çıkmıştır. Bu seçim modelleri matematiksel modeller (doğrusal programlama veya hedef programlama), finansal modeller (net bugünkü değer veya maliyet-fayda analizi) ve karar teorisi modelleri (çok kriterli karar verme veya karar ağaçları) olarak sınıflandırılabilir [20]. Liberatore ve Titus [21], proje türleri, kaynakları ve kriterlerinin çeşitliliği nedeniyle Ar-Ge ve inovasyon projelerinin seçiminde doğrusal ve tamsayı programlama yöntemleri gibi matematiksel modellerin yaygın olarak kullanılmadığını belirtmiştir. Liberatore ve Titus [21], çoğu firmanın proje getirilerini tahmin etmek için bir veya daha fazla geleneksel finansal yaklaşım kullandığını da tespit etmiştir. Ancak, finansal modeller Ar-Ge projelerini değerlendirmek için maddi veya parasal bileşenleri kullansa da Ar-Ge ve inovasyon projelerinin kriterleri, ölçülmesi zor olan ve

uzaman görüşleri gerektiren parasal olmayan kriterler içerebilir [20]. Bu yüzden inovasyon projelerinin seçiminde, birçok değerlendirme kriterini ve değerlendiricilerin görüşlerini içeren yargıları da dikkate alan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ Prosesi (ANP), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English), PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) ve TOPSIS gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması daha uygun olabilir [20, 22].

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren ve dünya devi otomobil markalarına sac parça şekillendirerek hizmet veren Toksan Otomotiv A.Ş'nin Ar-Ge Merkezi birimine sunulan Ar-Ge/inovasyon proje önerilerinin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için bulanık TOPSIS tabanlı çok kriterli bir karar modeli oluşturmak amaçlanmıştır. Bu modeli oluşturmak için aşağıda belirtilen adımlar izlenmiştir.

3.1. Ar-Ge/inovasyon projelerinin değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemin belirlenmesi

Literatür incelemesi, projelerin değerlendirilmesi ve seçimi için çok sayıda ÇKKV modelinin geliştirildiğini göstermektedir. Bu modellerden bazıları nitel kriterler, bazıları ise nicel parametreler ve matematiksel programlama kullanır. Nitel modeller yönetsel sezgiye ve öznel yargıya odaklanırken, nicel modeller optimizasyon için bir dizi kısıtlama veya kısıtlamaya tabi matematiksel programlama kullanır. Gerçek dünya problemlerinde nitel yargıları veya nicel parametreleri görmezden gelmek genellikle zordur. Dolayısıyla hem nitel yargıları hem de nicel parametrelerin değerlendirilmesini sağlayan bilimsel yöntemlerden biri olan çok kriterli karar verme yöntemlerinin proje seçiminde kullanılması daha uygun olacaktır [23]. Bu nedenle, bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden biri olan ve belirsiz/bulanık ortamlarda karar vermeyi kolaylaştıran bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda bu yöntem kısaca açıklanmıştır. TOPSIS, ilk olarak Hwang ve Yoon [24] tarafından geliştirilmiş ve ÇKKV içinde en sık kullanılan yöntemlerdendir [25, 26]. Bu yöntemin temel ilkesi; en iyi alternatifin, fayda kriterlerini maksimize eden ve maliyet kriterlerini en aza indiren pozitif ideal çözüme (PIS) en kısa mesafeye sahip olması gerektiğidir. Aynı zamanda, negatif ideal çözümden (NIS) en uzak mesafe, yani maliyet kriterlerini maksimize eden ve fayda kriterlerini en aza indiren çözüm olmasıdır [27, 28]. Geleneksel TOPSIS yöntemi, değerlendirme kriterlerinin, kriter ağırlıklarının, alternatiflerin ve çözümlük seviyelerinin kesin olarak tanımlandığını, yani problemin net verilerle dolu bir karar matrisi şeklinde tanımlandığını varsaymaktadır [28]. Gerçek hayattaki birçok karar verme probleminde bazı karar vericilerin küçük, orta ve büyük gibi dil terimlerini kullanarak kararlarını verebilecekleri kriterlerin ağırlıkları ve alternatiflerin puanlamaları doğru bir şekilde ölçülemez. Çünkü karmaşık durumları analiz etmek geleneksel olarak kolay değildir [29] ve bunları tanımlamak için kesin sayılar yerine aralıklarla çalışmayı, sözlü açıklamalar veya dilsel değişkenleri kullanmayı tercih edebilirler [30]. Bunu yerine getirmek için, karar verme problemlerinde belirsizlik ve dilbilimsel kavramları ele almak ve ölçmek için bulanık kümeler teorisi Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [29]. Bunun sonucu olarak da bulanık küme teorisi, birçok ÇKKV yaklaşımında olduğu gibi TOPSIS yöntemine de dahil edilerek Chen [31] tarafından bulanık TOPSIS önerilmiştir [28, 30, 32]. Önerilen bu yöntem, bulanık ortam altında çok kriterli karar verme sorunlarını çözmek ve karar vericilerin değerlendirmelerinde ve belirsizlikle başa çıkmada geleneksel TOPSIS yönteminden daha uygun ve etkilidir [33]. Yöntem; belirsiz, ölçülemeyen ve eksik bilgi sorununu bulanık ortamlarda ele almanın önemli bir yolunu sunmaktadır [34]. Bulanık TOPSIS yönteminin algoritması aşağıdaki gibidir; Chen [31] tarafından önerilen bulanık TOPSIS yönteminin ilk adımında, karar vericilerden oluşan bir grup oluşturulur. N tane karar vericiden oluşan küme; $E=KV_1, KV_2, \dots, KV_N$

şeklinde ifade edilir. Karar vericilerden oluşan komite oluşturulduktan sonra mevcut alternatifler; $E=A_1, A_2, \dots, A_m$ ve bu alternatifleri değerlendirmede kullanılacak olan kriterler; $E=K_1, K_2, \dots, K_n$ belirlenir. Bunu takiben, alternatiflerin değerlendirilmesinde ve kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılacak sözel değişkenler seçilir ve karar vericiler bu sözel değişkenler yardımıyla alternatif ve kriterleri değerlendirirler ve karar vericiler tarafından sözel değişkenler ile yapılan değerlendirmeler bulanık sayılar şeklinde ifade edilir. Bu değerlendirmelerin bulanık sayılar şeklindeki ifadesi Tablo 1 ve Tablo 2’deki gibidir.

Tablo 1. Kriterlerin önem ağırlığının belirlenmesinde kullanılan değişkenler [31]

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Orta Düşük (OD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Orta Yüksek (OY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9,1,1)

Tablo 2. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan değişkenler [31]

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Kötü (K)	(0, 1, 3)
Orta Kötü (OK)	(1, 3, 5)
Epeyce (E)	(3, 5, 7)
Orta İyi (Oİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

N tane karar vericinin alternatifler ve kriterler için değerlendirmelerini tek bir değere indirgeyebilmek için aşağıda açıklanan yol izlenir;

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{N} [\tilde{x}_{ij}^1 (+) \tilde{x}_{ij}^2 (+) \dots (+) \tilde{x}_{ij}^N] \tag{1}$$

Burada, \tilde{x}_{ij}^N N . karar vericinin değerlendirilmesini göstermektedir.

Her kriter için N tane karar verici tarafından belirlenen ağırlıkları tek bir değere indirgemek için, \tilde{w}_j şu şekilde hesaplanabilir;

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{N} [\tilde{w}_j^1 (+) \tilde{w}_j^2 (+) \dots (+) \tilde{w}_j^N] \tag{2}$$

burada \tilde{w}_j^N N . karar vericinin ağırlığını göstermektedir.

Tüm kriterler ve alternatifler için tek bir değer elde edildikten sonra karar problemi matris formatında şu şekilde gösterilir;

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \tag{3}$$

Burada $\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ üçgen bulanık sayılar olup, \tilde{D} bulanık karar matrisini, \tilde{W} ise bulanık ağırlıklar matrisini göstermektedir.

Karar matrisinin oluşturulmasından sonraki adım, karar matrisinin normalize edilmesidir. Bulanık karar matrisi eşitlik (5) ve (6) yardımıyla normalize edilir ve normalize bulanık karar matrisi \tilde{R} elde edilir.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

B ve C, fayda ve maliyet kriterleri olmak üzere:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right), \quad j \in B, \quad u_j^+ = \max_i u_{ij} \quad (5)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right) \quad j \in C, \quad l_j^- = \min_i l_{ij} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada $r_{ij}, (\forall i, j)$ normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır. Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonra, her bir karar kriterinin farklı önem ağırlığına sahip olabileceği dikkate alınarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi şu şekilde oluşturulur:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\text{Burada, } \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{w}_j \text{ 'dir.} \quad (8)$$

Ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS, A^+) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS, A^-) şu şekilde tanımlanır:

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad (9)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (10)$$

Burada, $\tilde{v}_{ij}^+ = (1,1,1)$ ve $\tilde{v}_{ij}^- = (0,0,0)$ $j = 1, 2, \dots, n$ 'dir.

Daha sonra, her alternatifin pozitif ideal çözüm (A^+) ve negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklıkları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Burada $d_v(a,b)$ iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir ve uzaklık eşitlik (13)'de verilen vertex metodu kullanılarak bulunur. Uzaklıkların bulunmasının ardından her alternatife ilişkin yakınlık katsayıları (CC_i) hesaplanır. Yakınlık katsayısı, bulanık pozitif ideal çözüme (A^+) ve bulanık negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklığı aynı anda dikkate alır.

$$d(a,b) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_a - l_b)^2 + (m_a - m_b)^2 + (u_a - u_b)^2]} \quad d(a,b) \in R^+ \quad (13)$$

Her alternatifin yakınlık katsayısı:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

formülüyle hesaplanır. Yakınlık katsayısı 1'e ne kadar yakınsa alternatifin tercih edilme şansı o kadar artar.

3.2. Ar-Ge/İnovasyon projelerinin değerlendirilmesinde etkili olan kriterlerin ve kriter ölçeklerinin belirlenmesi

Ar-Ge/İnovasyon projelerinin değerlendirilmesi için etkili olan kriterler ve kriter ölçekleri;

- Firmanın mevcutta Ar-Ge projelerini değerlendirdiği kriterlerin dikkate alınması,
- Özellikle Mitchell ve diğ, [12] ve Mitchell ve diğ, [35]'nin yaptıkları çalışmalarda ayrıntılı bir şekilde açıklanan kriterler olmak üzere literatür taraması,
- Firmanın Ar-Ge merkezi müdürü, fikri haklar ve teknolojik ürünler analiz uzmanı, Ar-Ge projeleri hibe uzmanı ve kurumsal inovasyon mentöründen oluşan bir ekibin ortak görüşü doğrultusunda,

belirlenmiş ve belirlenen bu kriterler ve ölçekler Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Ar-ge/inovasyon projelerinin değerlendirilmesinde etkili olan kriterler

Kriter No	Değerlendirme Kriterleri
K1	Yeniliğin derecesi (kim için yapıldığı)
K2	Yeni ürün/süreç/teknolojinin yenilik derecesi
K3	İnovasyon çeşidi
K4	Teknolojinin kullanım durumu ve gelişim yönü
K5	Farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol açma potansiyeli
K6	Firma kaynaklarının verimlilik açısından kullanım durumu
K7	Satış potansiyelinin 5 yıldaki durumu
K8	Müşteriye olan fayda
K9	Endüstrinin ya da pazarın hazırlık durumu
K10	Pazar büyümesine katkı
K11	Hedeflenen pazar
K12	Rekabet gücü
K13	Holding'in ya da Holding bünyesinde bulunan şirketlerin marka imajına etkisi
K14	Öğrenme potansiyeli
K15	Hibe destekli projeye dönüşme potansiyeli
K16	Şirket vizyonu, stratejisi ve inovasyon stratejilerine uyumu
K17	Müşteri ilişkilerine olan etkisi
K18	Patent/faydalı model, literatür taraması, rakip analizi çalışmalarının yapılma durumu
K19	Projenin gerçekleştirebilmesinin teknik zorluğu
K20	Seri üretim alt yapı yatırım ihtiyacı
K21	Projenin gerçekleştirebilmesinin mevcut teknik kapasite ve ihtiyaç duyulacak teknik kapasite açısından durumu
K22	İmalat / tedarik zincirine uygunluğu
K23	Ürün/süreç farklılaştırmaya olan etkisi

Kriterlerin ve kriter ölçeklerinin dilsel değerlendirilmesi: Yukarıda belirtilen ekip tarafından firmanın amaç ve hedeflerine göre kriterlerin önem derecesi Tablo 1'de yer alan sözel ifadelerle göre belirlenmiş ve benzer şekilde kriter ölçeklerinin dilsel değerlendirmesi ise Tablo 2'de yer alan sözel ifadeler kullanılarak yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler ve değerlendirmelerin karşılığı olan üçgen bulanık sayılar Tablo 4'te gösterilmiştir (Tablodaki değerlendirme kriterleri, makro yazımında projeleri değerlendirecek kişilerin daha iyi anlamaları için cümlelere çevrilmiştir). Bu çalışmada, literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak projeleri değerlendirecek olan kişilerin subjektif değerlendirmelerini en aza indirmek için kriter ölçeklerinin her birine ait dilsel değerlendirmeler ekip tarafından belirlenmiştir. Böylelikle subjektif olarak değil, önerilen ölçeğe göre değerlendirme yapılması sağlanmıştır. Örneğin; "Yeniliğin derecesi" kriterine ait "Dünya için yeni" ölçeği ekip tarafından "Çok İyi" olarak belirlenmiştir. Böylelikle değerlendirici projeyi değerlendirdiğinde projenin dünya için yeni olduğuna karar verirse sadece bu seçeneği seçerek subjektif değerlendirme ortamından kurtulmuş olacaktır.

Tablo 4. Ar-ge/inovasyon projelerinin değerlendirilmesinde etkili olan kriterlerin ve ölçüklerin dilsel değerlendirilmeleri

Değerlendirme Kriterleri	Kriterlerin Önem Derecesi ve Bulanık Sayılar	Kriter Ölçekleri	Kriter Ölçeklerinin Dilsel Değerlendirilmesi ve Bulanık Sayılar
Yeniliğin derecesini (kim için yapıldığını) belirtiniz.	Çok yüksek (0,9,1,1)	Dünya için yeni	Çok İyi (9, 10, 10)
		Türkiye için yeni	İyi (7, 9, 10)
		Sektör için yeni	Orta İyi (5, 7, 9)
		Holding için yeni	Epeyce (3, 5, 7)
Proje fikri ile ortaya konulan yeni ürün/süreç/teknolojinin yenilik derecesini belirtiniz.	Orta Düşük (0,1, 0,3, 0,5)	Devrimsel	Çok İyi (9, 10, 10)
		Evrimsel	İyi (7, 9, 10)
		Adımsal	Orta Kötü (1, 3, 5)
Proje fikrinin inovasyon çeşidini belirtiniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Ürün İnovasyonu	Çok İyi (9, 10, 10)
		Süreç İnovasyonu	İyi (7, 9, 10)
		Organizasyonel İnovasyon	Orta İyi (5, 7, 9)
Teknolojinin kullanım yönünü, mevcut durum ve gelişim yönü açısından değerlendiriniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Yeni teknoloji geliştirme	Çok İyi (9, 10, 10)
		Farklı bir sektördeki teknolojilerin entegrasyonu	İyi (7, 9, 10)
		Farklı bir sektör/alana yeni teknolojinin entegrasyonu	Orta İyi (5, 7, 9)
		Mevcut sektördeki teknolojilerin entegrasyonu	Epeyce (3, 5, 7)
Proje fikrinin farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol açma potansiyelini belirtiniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Mevcut teknolojiyi olduğu gibi kullanma	Çok Kötü (0, 0, 1)
		Büyük bir yeni işin başlangıcı veya daha birçok uygulama potansiyeli	Çok İyi (9, 10, 10)
		Yeni bir ürün grubuna veya birkaç uygulamaya yol açma potansiyeli	İyi (7, 9, 10)
		Başka ürün çeşitlerine yol açma potansiyeli	Orta İyi (5, 7, 9)
Firma kaynaklarının kullanım durumunu verimlilik açısından değerlendiriniz.	Orta Yüksek (0,5, 0,7, 0,9)	Başka uygulama çeşitlerine yol açma potansiyeli	Epeyce (3, 5, 7)
		Mevcut bir ürünün güncellenmesi	Kötü (0, 1, 3)
		Çok İyi	Çok İyi (9, 10, 10)
		İyi	İyi (7, 9, 10)
		Orta İyi	Orta İyi (5, 7, 9)
		Epeyce	Epeyce (3, 5, 7)
Proje fikrinin ticarileşmesi durumunda, 5 yıldaki satış potansiyelini belirtiniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Orta Kötü	Orta Kötü (1, 3, 5)
		Kötü	Kötü (0, 1, 3)
		Çok Kötü	Çok Kötü (0, 0, 1)
		%2,0	Çok İyi (9, 10, 10)
		%1,50	İyi (7, 9, 10)
Proje fikrinin müşteriye olan faydasını belirtiniz.	Yüksek (0,7, 0,9, 1)	%0,50	Orta İyi (5, 7, 9)
		%0,25	Orta Kötü (1, 3, 5)
		%0,10	Kötü (0, 1, 3)
		Göz alıcı yeni faydalar	Çok İyi (9, 10, 10)
		Müşterileri ilgilendiren birden fazla anahtar özellikte önemli bir ilerleme	İyi (7, 9, 10)
Proje fikrine endüstrinin ya da pazarın hazır olma durumunu belirtiniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Mevcut normlar dahilinde net müşteri avantajları	Orta İyi (5, 7, 9)
		Bazı müşteriler için bazı faydalar	Orta Kötü (1, 3, 5)
		Müşterilere belirgin bir faydası yok.	Kötü (0, 1, 3)
		Bunun için bastırılmış talep var.	Çok İyi (9, 10, 10)
Proje fikrinin gerçekleşmesi durumunda pazar büyümesine olan etkisini belirtiniz.	Yüksek (0,7, 0,9, 1)	Çoğu müşteri için kesinlikle çekici; müşteri davranışında değişiklik gerekmez.	İyi (7, 9, 10)
		Bazı müşteriler bunu istedi ancak müşteri davranışında bazı değişiklikler gerektiriyor.	Epeyce (3, 5, 7)
		Açık talep yok veya müşteri davranışında büyük değişiklik gerektirir.	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikri ile hedeflenen pazarı belirtiniz.	Orta Yüksek (0,5, 0,7, 0,9)	>%50 /yıl	Çok İyi (9, 10, 10)
		%20/yıl	İyi (7, 9, 10)
		%5-10/yıl	Orta İyi (5, 7, 9)
		<%5/yıl	Orta Kötü (1, 3, 5)
Proje fikri ile hedeflenen pazarı belirtiniz.	Orta Yüksek (0,5, 0,7, 0,9)	Durgun pazar	Kötü (0, 1, 3)
		Yeni yetkinlikler kazanarak ve yeni kaynaklar kullanarak yeni pazar hedefi	Çok İyi (9, 10, 10)
		Mevcut kaynak/yetkinlikleri kullanarak yeni pazar hedefi	İyi (7, 9, 10)
		Yeni yetkinlikler kazanarak ve yeni kaynaklar kullanarak mevcut pazar hedefi	Orta İyi (5, 7, 9)

		Mevcut yetkinlikler kazanarak ve mevcut kaynaklar kullanarak mevcut pazar hedefi	Epeyce (3, 5, 7)
Proje fikrinin rekabet gücünü belirtiniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Piyasada tek olma	Çok İyi (9, 10, 10)
		Olağan rekabet veya 1 güçlü rakip	İyi (7, 9, 10)
		2 güçlü rakip	Epeyce (3, 5, 7)
		4 veya daha fazla güçlü rakip	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikri Holding'in ya da Holding bünyesinde bulunan şirketlerin marka imajını nasıl etkileyecektir?	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Olumlu basın yorumu beklenebilir ya da faaliyet raporunda yer alan özellik	Çok İyi (9, 10, 10)
		Şirketimizin imajını korumaya yardımcı olma	İyi (7, 9, 10)
		Az etki	Orta Kötü (1, 3, 5)
		Etkisiz	Çok Kötü (0, 0, 1)
Proje fikrinin gerçekleştirilmesi durumundaki öğrenme potansiyelini değerlendiriniz.	Yüksek (0,7, 0,9, 1)	Gelecekteki işlerin %50'si için hayati öneme sahip yeterliliklerde sınıf lideri öğrenme	Çok İyi (9, 10, 10)
		Halen zayıf olduğumuz bir veya daha fazla temel yetkinliği düzeltme	İyi (7, 9, 10)
		Faydalı öğrenme	Epeyce (3, 5, 7)
		Öğrenme yok	Çok Kötü (0, 0, 1)
Proje fikrinin hibe destekli projeye dönüşme potansiyelini değerlendiriniz.	Yüksek (0,7, 0,9, 1)	Çağrıların 2 ve daha fazlasına uygun.	Çok İyi (9, 10, 10)
		Çağrılardan en az 1'ine uygun.	Epeyce (3, 5, 7)
		Çağrı konularının hiçbirine uygun değildir.	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikrini şirket vizyonu ve inovasyon stratejilerine uyumu açısından değerlendiriniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	İnovasyon fikri firmanın vizyonu ve inovasyon stratejileri ile uyumlu	Çok İyi (9, 10, 10)
		Stratejik niyet ve belirli bir ürün/süreç vizyonuna uyar.	Epeyce (3, 5, 7)
		Fikir açıkça stratejik amacımızın dışında ve ürün/süreç vizyonuna uymuyor.	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikrinin müşteri ilişkilerine olan etkisini olumlu ya da olumsuz yönden değerlendiriniz.	Yüksek (0,7, 0,9, 1)	Fikir, müşterileri işletmenin %25'ini elinde tutmak için hayati önem taşımaktadır.	Çok İyi (9, 10, 10)
		Fikrin yapılmaması, önemli bir müşterinin işini tehlikeye atabilir.	İyi (7, 9, 10)
		Kilit müşterileri elde tutmanıza yardımcı olacaktır.	Orta İyi (5, 7, 9)
		Etkisiz	Kötü (0, 1, 3)
		Mevcut müşteriler bu konuda endişeli olabilir.	Çok Kötü (0, 0, 1)
Patent/faydalı model, literatür taraması, rakip analizi çalışmalarının yapılma durumunu araştırma uygunluğu açısından belirtiniz.	Orta Yüksek (0,5, 0,7, 0,9)	Patent, faydalı model, literatür taraması, rakip analizi çalışmalarından en az 3'ünün yapılması	Çok İyi (9, 10, 10)
		Patent, faydalı model, literatür taraması, rakip analizi çalışmalarından en az 2'sinin yapılması	Epeyce (3, 5, 7)
		Patent, faydalı model, literatür taraması, rakip analizi çalışmalarından 1'inin yapılması veya hiç yapılmaması	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikrinin gerçekleştirilebilirlik durumunu teknik zorluk açısından değerlendiriniz.	Orta Yüksek (0,5, 0,7, 0,9)	Tüm problemlere yönelik çözüm	Çok İyi (9, 10, 10)
		Olası problemlerin %50'sine çözüm	İyi (7, 9, 10)
		Tüm problemlerin %25'ine çözüm	Epeyce (3, 5, 7)
		Problemlere çözüm bulamama	Kötü (0, 1, 3)
Seri üretim altyapı yatırım ihtiyacını belirtiniz.	Yüksek (0,7, 0,9, 1)	Yatırım ihtiyacı gerektirmez.	Çok İyi (9, 10, 10)
		Ek yatırım gerektirir.	Epeyce (3, 5, 7)
		Büyük yatırım gerektirir.	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikrinin gerçekleştirilmesini mevcut teknik kapasite ve ihtiyaç duyulacak teknik kapasite durumuna göre değerlendiriniz.	Yüksek (0,7, 0,9, 1)	Yetkinlikler dahilinde ve yeni beceri/bilgi gerektirmez.	Çok İyi (9, 10, 10)
		Bazı yeni beceriler gerekli, ancak zamanla edinilebilir.	İyi (7, 9, 10)
		Mevcut personel 3 ay veya daha kısa sürede yetenek kazanabilir veya 1 ya da 2 yeni kişiyi işe alarak yetenek kazanabilir.	Orta İyi (5, 7, 9)
		Bazı önemli yeteneklerimiz yok ve bunları elde etmek için bir plan gerekiyor.	Epeyce (3, 5, 7)
		Yeni büyük yetenekler satın almamız veya yeni bir teknik ekip almamız ya da bir ortağa güvenmemiz gerekecektir.	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikrinin imalat / tedarik zincirine uygunluğunu belirtiniz.	Orta Yüksek (0,5, 0,7, 0,9)	Her zamanki beklentiler dahilinde imalat veya tedarik zincirindeki küçük değişiklikler gerekecektir.	Çok İyi (9, 10, 10)
		Gerekli değişiklikler ancak zaman içinde kapasitemiz dahilinde gerçekleştirilebilir.	İyi (7, 9, 10)
		Üretim sürecinin uyarlanması veya özel dikkat gerektiren tedarik zincirinde değişiklik gerekecektir.	Epeyce (3, 5, 7)
		Yeni üretim teknolojisi gerekli veya tedarik zincirinde büyük değişiklik gerekecektir.	Kötü (0, 1, 3)
Proje fikrinin ürün/süreç farklılaştırmaya olan etkisini belirtiniz.	Çok Yüksek (0,9,1,1)	Birçok önemli özellik rakipten çok daha iyidir.	Çok İyi (9, 10, 10)
		En az bir önemli özellik rakiplerden önemli ölçüde daha iyidir.	İyi (7, 9, 10)
		Rakiplerden daha iyi bazı küçük özellikler var.	Orta İyi (5, 7, 9)
		En az bir özellik rakiplerden iyidir.	Epeyce (3, 5, 7)
		Rakiplerden daha iyi özellikler yoktur.	Kötü (0, 1, 3)

3.3. Microsoft Excel'de makro yazımı

Yukarıda belirtilen kriterler dikkate alınarak Microsoft Excel'de bulanık TOPSIS yönteminin uygulama algoritmasına göre firmadaki Fikri Haklar ve Teknolojik Ürünler Analiz Uzmanı tarafından makro yazılmıştır. Makro yazımında 3 değerlendirici tarafından projelerin değerlendirileceği esas alınmıştır. Projelerin değerlendirilmesi, Şekil 1'de verilen ekran görüntüsünde olduğu gibi kriter ölçüklerinin değerlendiriciler tarafından açılır pencereden seçilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

TOKSAN STATİSTİK		AR-GE / İNOVASYON PROJE ÖNERİ DEĞERLENDİRME FORMU			Doküman No:	D-ARG-FR 050
					Doküman Yayın Tarihi:	
					Revizyon No / Tarihi:	
					Sayfa No:	1/6
P1	X...	DEĞERLENDİRME				
Değerlendirici 1	A...					
Değerlendirici 2	B...					
Değerlendirici 3	C...					
		Değerlendirici 1	Değerlendirici 2	Değerlendirici 3		
1	Yeniliğin derecesini (kim için yapıldığını) belirtiniz.					
2	Proje fikri ile ortaya konulan yeni ürün/süreç/teknolojinin yenilik derecesini belirtiniz.	Dünya için yeni				
3	Proje fikrinin inovasyon çeşidini belirtiniz.					
4	Teknolojinin kullanım yönünü, mevcut durum ve gelişim yönü açısından değerlendiriniz.					
5	Firma fikrinin farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol açma potansiyelini belirtiniz.					

Şekil 1. Ar-ge/inovasyon projelerinin değerlendirme formu

3.4. Örnek proje önerileri yardımıyla uygulamanın yapılması

Oluşturulan çözüm modeli için firmanın Ar-Ge Merkezine yapılan beş Ar-Ge/İnovasyon proje önerisi (P1, P2, P3, P4, P5) değerlendiriciler tarafından değerlendirilmiş ve Şekil 2'de değerlendirme aşamasının ekran görüntüsü verilmiştir.

TOKSAN STATİSTİK		AR-GE / İNOVASYON PROJE ÖNERİ DEĞERLENDİRME FORMU			Doküman No:	D-ARG-FR 050
					Doküman Yayın Tarihi:	
					Revizyon No / Tarihi:	
					Sayfa No:	1/6
P1	X...	DEĞERLENDİRME				
Değerlendirici 1	A...					
Değerlendirici 2	B...					
Değerlendirici 3	C...					
		Değerlendirici 1	Değerlendirici 2	Değerlendirici 3		
1	Yeniliğin derecesini (kim için yapıldığını) belirtiniz.	Dünya için yeni	Yeni için yeni	Dünya için yeni		
2	Proje fikri ile ortaya konulan yeni ürün/süreç/teknolojinin yenilik derecesini belirtiniz.	Dünya için yeni	Yeni için yeni	Adımsal		
3	Proje fikrinin inovasyon çeşidini belirtiniz.	Ürün İnovasyonu	Ürün İnovasyonu	Ürün İnovasyonu		
4	Teknolojinin kullanım yönünü, mevcut durum ve gelişim yönü açısından değerlendiriniz.	Yeni teknoloji geliştirme	Farklı bir sektördeki teknolojilerin entegrasyonu	Yeni teknoloji geliştirme		
5	Proje fikrinin farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol açma potansiyelini belirtiniz.	Başka ürün çeşitlerine yol açma potansiyeli	Yeni bir ürün grubuna veya birkaç uygulamaya yol açma potansiyeli	Başka ürün çeşitlerine yol açma potansiyeli		
6	Firma kaynaklarının kullanım durumunu verimlilik açısından değerlendiriniz.	Çok iyi	İyi	İyi		

Şekil 2. Ar-ge/inovasyon proje önerilerinin değerlendirilme ekran görüntüsü (p1 projesi ve değerlendirici 1 örneği)

Şekil 2'de gösterilen değerlendirme süreci tüm değerlendiriciler ve projeler içinde yapılmış ve Tablo 5'te sadece "Değerlendirici 1" için verilen üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Tablo 5. Değerlendirmelerin üçgen bulanık sayılara dönüştürülmesi (değerlendirici 1 için)

Kriter No	DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	KRİTER ÖNEM DERECESESİ	Üçgen Bulanık Sayılar (l, m, u)			Proje Önerilerinin Değerlendirilmesi																	
						Değerlendirici 1																	
						P1			P2			P3			P4			P5					
1	Yeniliğin derecesini (kim için yapıldığını) belirtiniz.	Çok yüksek	0,9	1	1	9	10	10	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7
2	Proje fikri ile ortaya konulan yeni ürün/süreç/teknolojinin yenilik derecesini belirtiniz.	Orta Düşük	0,1	0,3	0,5	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
3	Proje fikrinin inovasyon çeşidini belirtiniz.	Çok Yüksek	0,9	1	1	9	10	10	9	10	10	9	10	10	9	10	10	9	10	10	9	10	10
4	Teknolojinin kullanım yönünü, mevcut durum ve gelişim yönü açısından değerlendiriniz.	Çok yüksek	0,9	1	1	9	10	10	0	0	1	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7
5	Proje fikrinin farklı teknoloji alanlarına ve uygulamalarına yol	Cok yüksek	0,9	1	1	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9

4. Bulgular

Değerlendirmeler yapıldıktan sonra bulanık TOPSIS algoritmasına göre sırasıyla; bulanık karar matrisi, normalize edilmiş bulanık karar matrisi, ağırlıkla normalize edilmiş bulanık karar matrisi, bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık pozitif ideal çözümler elde edilmiştir.

Tablo 6'da verilen bulanık karar matrisi, seçim kriterlerinin faydalarını maksimize, maliyetlerini ise minimize edecek şekilde normalize edilerek normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 6. Bulanık ve normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Kriter No	Bulanık Karar Matrisi															Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi																	
	P1			P2			P3			P4			P5			P1			P2			P3			P4			P5					
1	9	10	10	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7	0,9	1	1	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
2	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5	0,2	0,6	1	0,2	0,6	1	0,2	0,6	1	0,2	0,6	1	0,2	0,6	1	0,2	0,6	1
3	9	10	10	9	10	10	9	10	10	9	10	10	9	10	10	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1
4	8,3	9,7	10	0	0	1	3	5	7	3	5	7	1	1,7	3	0,8	1	1	0	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
5	5,7	7,7	9,3	5	7	9	5	7	9	7	9	10	5	7	9	0,6	0,8	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
6	7,7	9,3	10	7	9	10	7	9	10	7	9	10	7	9	10	0,8	0,9	1	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1

Her bir kriterinin farklı önem ağırlıklarına sahip olduğu dikkate alınarak, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi eşitlik (8) kullanılarak elde edilmiştir. Projelerin bulanık pozitif ideal çözüme olan uzaklıkları eşitlik (11) ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıkları eşitlik (12) yardımıyla hesaplanarak Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Ağırlıkla normalize edilmiş bulanık karar matrisi, bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık pozitif ideal çözümler

Kriter No	Ağırlıkla Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi															Bulanık Pozitif İdeal Çözüm					Bulanık Pozitif İdeal Çözüm				
	P1			P2			P3			P4			P5			P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
1	0,8	1	1	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,11	0,539	0,539	0,539	0,539	0,941	0,521	0,521	0,521	0,521
2	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5	0,792	0,792	0,792	0,792	0,792	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307
3	0,8	1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,941	0,941	0,941	0,941	0,941
4	0,8	1	1	0	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,1	0,2	0,3	0,146	0,968	0,539	0,539	0,819	0,912	0,058	0,521	0,521	0,205
5	0,5	0,8	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,6	0,9	1	0,5	0,7	0,9	0,316	0,366	0,366	0,221	0,366	0,757	0,708	0,708	0,858	0,708
6	0,4	0,7	0,9	0,4	0,6	0,9	0,4	0,6	0,9	0,4	0,6	0,9	0,4	0,6	0,9	0,412	0,436	0,436	0,436	0,436	0,679	0,666	0,666	0,666	0,666

Uzaklıkların hesaplanmasından sonra her projenin her seçim kriteri için hesaplanan d_i^+ ve d_i^- uzaklıkları toplanmış ve bu uzaklıklara bağlı olarak her projenin yakınlık katsayıları (CC_i) eşitlik

(14) ile hesaplanmış Tablo 8’de verilen ve Chen (2000) tarafından önerilen ölçüğe göre makro yazımının sonuç ekranı oluşturulmuş ve Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 8. Proje önerilerini değerlendirme ölçüğü

Yakınlık Katsayısı	Değerlendirme Sonucu
0<...<0,2	Tavsiye edilmez
0,2<...<0,4	Yüksek risk ile tavsiye edilir
0,4<...<0,6	Düşük risk ile tavsiye edilir
0,6<...<0,8	Kabul edilir
0,8<...<1,0	Kabul edilir ve tercih edilir.

TOKSAN OTOMOTİV		AR-GE / İNOVASYON PROJE ÖNERİ DEĞERLENDİRME SONUCU		Doküman No:	D-ARG-FR 050
				Doküman Yayın Tarihi:	
				Revizyon No / Tarihi:	
				Sayfa No :	8/8
Proje Öneri	Proje Öneri Adı	Değerlendirme Puanı	Değerlendirme Sonucu		
P1	X	0,7123	Kabul edilir		
P2	Y	0,3825	Yüksek risk ile tavsiye edilir		
P3	Z	0,4343	Düşük risk ile tavsiye edilir		
P4	T	0,6975	Kabul edilir		
P5	V	0,6276	Kabul edilir		

Şekil 3. Ar-Ge/İnovasyon proje öneri değerlendirme sonuç ekranı

Sonuç ekranına baktığımızda, önerilen projelere ait yakınlık katsayı puanına ve bu puana karşılık gelen sözel değerlendirme sonucuna göre projeler önceliklendirilmiştir. Oluşturulan çözüm modeli için yapılan örnek uygulamada **P1** proje önerisi en yüksek değerlendirme puanı olarak 1. sırada “Kabul edilir”, **P2** projesi ise en düşük puanı olarak “yüksek risk ile tavsiye edilir” kategorisinde yer almıştır. Bu sonuçlara göre **P1** proje önerisinin öncelikli olarak Ar-Ge/İnovasyon proje portföyüne dahil edilmesi uygun olacaktır.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Günümüz dünyasında, müşteri ihtiyaç ve beklentileri sürekli olarak değişmektedir. Firmalar da değişen bu ihtiyaç ve beklentileri karşılamak için sınırlı kaynakları olmasına rağmen, Ar-Ge/İnovasyon projelerine büyük miktarda yatırım yapmak istemektedirler. Ancak, çeşitli proje değerlerine karşı riskler, kriterler, karşılıklı bağımlılıklar ve diğer kısıtlamalar dikkate alındığında çok sayıda uygulanabilir proje arasından öncelikle hangisine yatırım yapılması kararı oldukça zor ve karmaşık bir görevdir. Burada önemli olan sınırlı kaynaklarla mümkün olan en büyük faydayı elde ettirecek projenin doğru seçimidir. Seçim sürecinde, projelerin doğal yapısı gereği hem nitel hem de nicel kriterler bulunmakta ve her iki tür kriterleri de dikkate alan çok kriterli karar verme yöntemleri gibi yöntemlerin kullanılması karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada, otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren Toksan Otomotiv A.Ş. firmasının Ar-Ge/İnovasyon proje portföyünü oluşturması için firmaya sunulan proje önerilerinin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi için bulanık TOPSIS tabanlı bir Ar-Ge/İnovasyon Proje Öneri değerlendirme ve önceliklendirme karar modeli oluşturulmuştur. Bulanık TOPSIS yönteminin algoritmasına göre Microsoft Excel’de yapılan makro yazımına bağlı olarak firmanın daha önce kullandığı yöntemle göre değerlendirdiği ve önceliklendirdiği beş adet proje önerisi bu modele göre değerlendirilmiş ve projeler önceliklendirilerek proje portföyüne dahil edilmesi gereken proje önerisi tespit edilmiştir.

Yapılan uygulama modelinde literatürden farklı olarak, değerlendirme kriterlerine ait ölçekler oluşturulmuş ve bu ölçeklere ait sözel değerlendirmeler belirlenerek sabitlenmiştir. Böylelikle değerlendiricilerin subjektif değerlendirmeleri en aza indirilmiştir. Ayrıca, modelde yer alan 23 kriter ve 97 kriter ölçeği ele alındığında, projelerin değerlendirilmesinin çok yönlü yapıldığı (yenilik, teknik, fayda, fizibilite, risk, maliyet açılarından) ve hassas sonuçların elde edildiği ifade edilebilir. Dolayısıyla, oluşturulan çok kriterli karar modeli Ar-Ge/İnovasyon projeleri özelinde diğer projelerini değerlendirmek isteyen tüm firmalar tarafından kullanılabilir ve geliştirilebilir.

Teşekkür: Bu çalışmaya büyük katkı sağlayan Toksan Otomotiv A.Ş., Ar-Ge Merkezi Müdürü Sayın Berna Başak MIŞIL'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Mikkola, J. H. (2001). Portfolio management of R&D projects: implications for innovation management. *Technovation*, 21(7), 423-435.
- [2] Klinton, N., Vadhanasindhu, P., & Thawesaengskulthai, N. (2012, February). Artificial intelligence and successful factors for selecting product innovation development. In *2012 Third International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation* (pp. 397-402). IEEE.
- [3] Tohidi, H., & Jabbari, M. M. (2012). The important of innovation and its crucial role in growth, survival and success of organizations. *Procedia Technology*, 1, 535-538.
- [4] Huvaj, M. N., & Johnson, W. C. (2019). Organizational complexity and innovation portfolio decisions: Evidence from a quasi-natural experiment. *Journal of Business Research*, 98, 153-165.
- [5] Hall, D. L., & Nauda, A. (1990). An interactive approach for selecting IR&D projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 37(2), 126-133.
- [6] Dodgson, M. (1997). Systematic integration of the innovation press within the firm. *Australian-Asia Management Center*.
- [7] Tohidi, H., Jafari, A., & Afshar, A. A. (2010). Using balanced scorecard in educational organizations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 5544-5548.
- [8] Calantone, R. J., Cavusgil, S. T., & Zhao, Y. (2002). Learning orientation, firm innovation capability, and firm performance. *Industrial marketing management*, 31(6), 515-524.
- [9] Wei, C. C., & Chang, H. W. (2011). A new approach for selecting portfolio of new product development projects. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 429-434.
- [10] Mavrotas, G., & Makryvelios, E. (2020). Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and Monte Carlo simulation to tackle uncertainty in Research and Development project portfolio selection: A case study from Greece. *European Journal of Operational Research*, in press.
- [11] Souza, D. G., Silva, C. E., & Soma, N. Y. (2020). Selecting projects on the Brazilian R&D energy sector: a fuzzy-based approach for criteria selection. *IEEE Access*, 8, 50209-50226.
- [12] Mitchell, R., Phaal, R., & Athanassopoulou, N. (2014, July). Scoring methods for prioritizing and selecting innovation projects. In *Proceedings of PICMET'14 Conference*:

Portland International Center for Management of Engineering and Technology; Infrastructure and Service Integration (pp. 907-920). IEEE.

- [13] Bhattacharyya, R. (2015). A grey theory based multiple attribute approach for R&D project portfolio selection. *Fuzzy Information and Engineering*, 7(2), 211-225.
- [14] Cheng, C. H., Liou, J. J., & Chiu, C. Y. (2017). A consistent fuzzy preference relation based ANP model for R&D project selection. *Sustainability*, 9(8), 1352.
- [15] Martino, J. P. (1995). *Research and development project selection*. Wiley.
- [16] Loch, C. H., Pich, M. T., Terwiesch, C., & Urbschat, M. (2001). Selecting R&D projects at BMW: A case study of adopting mathematical programming models. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(1), 70-80.
- [17] Ali, A., Kalwani, M. U., & Kovenock, D. (1993). Selecting product development projects: Pioneering versus incremental innovation strategies. *Management Science*, 39(3), 255-274.
- [18] Cooper, R., Edgett, S., & Kleinschmidt, E. (2001). Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. *R&D Management*, 31(4), 361-380.
- [19] Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, 17(4), B-141.
- [20] Huang, C. C., & Chu, P. Y. (2011). Using the fuzzy analytic network process for selecting technology R&D projects. *International journal of technology management*, 53(1), 89-115.
- [21] Liberatore, M. J., & Titus, G. J. (1983). The practice of management science in R&D project management. *Management Science*, 29(8), 962-974.
- [22] Abdel-Basset, M., Atef, A., & Smarandache, F. (2019). A hybrid Neutrosophic multiple criteria group decision making approach for project selection. *Cognitive Systems Research*, 57, 216-227.
- [23] Tavana, M., Khosrojerdi, G., Mina, H., & Rahman, A. (2020). A new dynamic two-stage mathematical programming model under uncertainty for project evaluation and selection. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106795.
- [24] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [25] Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with Applications*, 121, 266-281.
- [26] Yayla, A. Y., Yıldız, A., & Ozbek, A. (2012). Fuzzy TOPSIS method in supplier selection and application in the garment industry. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 20, 4(93): 20-23.
- [27] Yıldız, A., & Demir, Y. (2019). Bulanık TOPSIS yöntemiyle Türkiye'nin yerli otomobili için en uygun fabrika yerinin seçimi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 7(4), 1427-1445.
- [28] Han, H., & Trimi, S. (2018). A fuzzy TOPSIS method for performance evaluation of reverse logistics in social commerce platforms. *Expert Systems with Applications*, 103, 133-145.

- [29] Hatami-Marbini, A., & Kangi, F. (2017). An extension of fuzzy TOPSIS for a group decision making with an application to Tehran stock exchange. *Applied Soft Computing*, 52, 1084-1097.
- [30] Gupta, H. (2018). Assessing organizations performance on the basis of GHRM practices using BWM and Fuzzy TOPSIS. *Journal of environmental management*, 226, 201-216.
- [31] Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9.
- [32] Yildiz, A., & Yayla, A. (2017). Application of fuzzy TOPSIS and generalized Choquet integral methods to select the best supplier. *Decision Science Letters*, 6(2), 137-150.
- [33] Sirisawat, P., & Kiatcharoenpol, T. (2018). Fuzzy AHP-TOPSIS approaches to prioritizing solutions for reverse logistics barriers. *Computers & Industrial Engineering*, 117, 303-318.
- [34] Solangi, Y. A., Tan, Q., Mirjat, N. H., & Ali, S. (2019). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *Journal of Cleaner Production*, 117655.
- [35] Mitchell, R., Phaal, R., & Athanassopoulou, N. (2018). Scoring methods for evaluating and selecting early stage technology and innovation projects. Centre for Technology Management working paper series, 2, 1-19.