

## AR-GE PROJELERİNİN SEÇİM SÜRECİNDE BULANIK TOPSİS YAKLAŞIMI: BİR ÜRETİM İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

Arş. Gör. Ezgi GÜLER

İstanbul Okan Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ezgi.guler@okan.edu.tr

Arş. Gör. Selen AVCI

Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, selen.avci@kocaeli.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Atakan ALKAN

Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, aalkan@kocaeli.edu.tr

Prof. Dr. Zerrin ALADAĞ

Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, zaladag@kocaeli.edu.tr

### ÖZET

Ar-Ge projeleri yeni ürünlerin oluşturulması için yapılan yaratıcı ve sistematik çalışmalardır. Yatırım kararı sayılabilecek nitelikteki uzun dönemli ve stratejik projelerin dışında siparişe dayalı ya da proje tipi üretim yapan işletmelerde dönemlik Ar-Ge projelerinin önceliklendirmesi yöneticiler için önem taşımaktadır. Proje önceliklerinin belirlenmesinde birçok algoritma ve yöntem bulunmaktadır. Kişisel görüşlere dayalı ve belirsizlikler içeren önemli ve hassas kararların verildiği süreçlerde, bulanık mantık destekli yöntemlerin kullanımı daha gerçekçi ve etkin sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada Ar-Ge projelerinin seçim ve önceliklendirme süreci için karara etki edebilecek tüm kriter ve alt kriterler işletme yöneticileri ve bölüm çalışanlarından oluşan bir ekip ile belirlenmiştir. Karar sürecinde 5 adet Ar-Ge projesi ve 12 adet proje değerlendirme kriteri bulunmaktadır. Oluşturulan 5 kişilik ekibin karar sürecindeki etki düzeylerini belirlemek için ekip üyeleri arasından seçilen 2 kişilik Karar Verici Değerlendirme Kurulu(KVVK)'na anket uygulanmıştır. Bulanık mantığın temel işlemleri Bulanık AHP algoritmasına göre yapılmış ve her bir karar vericinin karar süreci için ağırlığı hesaplanmıştır. Karar verici etki düzeyinin karar sürecine yansımaları değerlendirmek için karar vericilerin eşit etki düzeyi için de karar süreci sonuçları elde edilmiştir. Bulanık TOPSİS yöntemi ile her iki karar verici etki düzeyi seti için işletmenin dönemlik Ar-Ge projelerinin önceliklendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın, bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı ile Ar-Ge projelerini önceliklendirme sürecini güçlendirdiği görülmüştür.

1

### FUZZY TOPSIS APPROACH IN THE SELECTION PROCESS OF R & D PROJECTS: A SAMPLE OF PRODUCTION FACTORY

#### ABSTRACT

R & D projects are creative and systematic works for the creation of new products. Priority for R & D projects is important in terms of order-based or project-type manufacturing, except for long-term and strategic projects that can be considered as investment decisions. There are many algorithms and methods in determining project priorities. The use of fuzzy logic-supported methods gives more realistic and effective results in the process of making important and sensitive decisions based on personal opinions and uncertainties.

In this study, all criteria and sub-criteria that can affect the decision for the selection and prioritization process of R & D projects are determined by a team of business managers and department employees. There are 5 R & D projects and 12 project evaluation criteria in the decision process. In order to determine the effect levels of the 5-person team in the decision process, a questionnaire was applied to the 2-Person Decision-Making Assessment Board (KVDK) selected from among the team members. The basic operations of fuzzy logic were made according to the Fuzzy AHP algorithm and the weight of each decision maker for the decision process was calculated. Decision-making results were obtained for the equal effect level of decision-makers to evaluate the effect of decision-making on decision-making. With the Fuzzy TOPSIS method, the prioritized R & D projects of the enterprise were made for both sets of decision-making impact levels. It has been observed that the study strengthens the process of prioritizing R & D projects with a fuzzy multi-criteria decision-making approach.

## GİRİŞ

Ar-Ge, bilim ve teknolojinin gelişmesini sağlayacak yeni bilgileri elde etmek veya mevcut bilgilerle yeni malzeme, ürün ve araçlar üretmek, yazılım üretimi dahil olmak üzere yeni sistem, süreç ve hizmetler tasarlamak, meydana getirmek ya da mevcut olan üzerinde geliştirmeler yapmak amacı ile planlanan ve düzenlenen sistematik çalışmalardır(Zerenler, Türker, & Şahin, 2007)

Bir proje, belirtilen zaman, üretim, kalite ve maliyet kısıtları gözetilerek ortaya bir ürün koyabilmek için yürütülen eşsiz bir çabadır(Westland, 2003). Ar-Ge çalışmaları genelde proje bazlı olarak yürütülmektedir (Nobelius, 2004). Bu çalışmalarda ürün veya proses için projenin hedefi belirlenir ve planlama çalışmaları başlatılır.

Ar-ge projelerinde seçim işleminin yapılmasına yönelik tekniklerden birkaçının kullanımı oldukça yaygındır. Bu teknikler temelde iki duruma yanıt vermektedir. İlki projelerin değerinin belirlenmesi ikincisi de firmaya katma değer yaratacak şekilde bir araya gelmiş proje portföyünün ortaya konmasıdır.

Ar-Ge projeleri, üretim, pazarlama, mühendislik ve diğer faaliyetleri etkilediğinden kıt kaynakların bu projelere optimal biçimde dağıtılması gerekir. Bu sebeple firma yöneticilerinin seçilecek Ar-Ge projeleri üzerinde fikir birliğine varmaları önemlidir. Firmalar açısından Ar- Ge projelerinin seçim ve değerlendirilme amaçları; firma hedeflerine ve stratejilerine uygun projeler seçilmesini sağlamak, kıt kaynakları bu projelere yönlendirmek, projelerin değerini maksimize etmek ve yeni ürünler ve geliştirme projeleri arasında denge kurmak olarak sıralanabilir (Piippo vd., 1999). Proje seçimini etkileyen nitel ve nicel faktörler firma amacına hizmet edecek şekilde seçilmelidir.

Osawa ve Murakami (2002) nitel faktörleri, projenin stratejik açıdan önemi ile teknolojik etkisi ve uygulanabilirliği olarak, nicel faktörleri, satışlar, kar ve projenin etkinliğini biçiminde tanımlamışlardır.

Liang(2003) daha dar kapsamda, projenin firmaya katkısı, yenilik yaratma gücü,yatırım tutarı ve firma amaçlarına uygunluk kriterlerini dikkate almıştır.

Literatürde Ar-Ge projelerinin önceliklendirilmesine ve seçimine yönelik çeşitli tekniklerin yer aldığı birçok çalışma bulunmaktadır.

Arunachalam, Sathya, Begum ve Makeswari (2013) Ar- Ge projelerini araştırma alanındaki benzerliklerine dayanarak kümelemek için metin madenciliği tabanlı bir yaklaşımı, Mohaghar, Fathi, Faghih ve Turkayesh (2012) bulanık analitik ağ süreci ve bulanık TOPSIS yöntemlerini, Gosenheimer (2012) önceliklendirme matrisini, Ayan ve Perçin (2012) grup kararına dayalı bulanık TOPSIS yaklaşımını, Pesen (2012), Seeber (2011), Murray, Alpaugh, Burgher, Flachsbert ve Elrod (2010), Tunç (2004) analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemini, Aker (2010) veri zarflama analizini, Tolga ve Kahraman (2009) bulanık AHP yöntemini, Onursal (2009) bulanık TOPSIS yöntemini, Çağlar (2009) PROMETHEE V yöntemini, Guo, Liang, Zhu ve Hu (2008) 0-1 doğrusal olmayan

matematiksel programlama yöntemini, Eliat, Golany ve Shtub (2007) veri zarflama analizi ve dengelenmiş hedef kartı yaklaşımını, Huang, Chu ve Chiang (2006) bulanık AHP yöntemini, Carlsson, Fuller ve Majlender (2005) bulanık gerçek opsiyon yaklaşımını kullanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; imalat yapan bir KOBİ’de dönemlik 5 adet Ar-Ge projesinin önceliklendirilmesi ve seçimi için bir karar sürecinin, bulanık çok kriterli karar verme modeli olarak ele alınması, seçim kriterlerinin Bulanık AHP ile ağırlıklandırılması ve alternatif projelerin seçim kararında Bulanık TOPSİS yönteminin kullanımı amaçlanmıştır. Ar-Ge projeleri arasında yapılan öncelik sıralamasının sonucu ile projelerin seçim ve önceliklendirme sonuçları analiz edilmektedir. Ortaya konan karar sürecinin, farklı karar verici ağırlık durumları ile birlikte karar vericilerin fikir birliğine yol gösterici olacağı öngörülmüştür.

Ar-Ge Projelerinin seçimi sürecinde oluşturulan Çok Kriterli Karar Verme modeli için Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden

1. Bulanık AHP

2. Bulanık TOPSIS

yöntemleri kullanılmıştır.

### Bulanık AHP (BAHP)

Geleneksel AHP’de karar vericiler değerlendirmeleri kişisel ikilemlere yanıt veremezken, Bulanık AHP’de (BAHP) bulanık sayılar veya dilsel değişkenler kullanılarak daha kolay değerlendirme yapabilmektedir. Pek çok farklı BAHP yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada, kriter ağırlıklandırmasında yaygın bir Bulanık AHP yöntemi olarak bilinen ve Chang (1996) tarafından önerilen Genişletilmiş Analiz Metodu kullanılmıştır.

$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, \dots, x_n\}$  nesne seti olsun. Nesne; ana amaç açısından bakıldığında ana kriterleri; ana kriterler açısından bakıldığında ise alt kriterleri ifade etmektedir.

$M^1_{gi}, M^2_{gi}, M^3_{gi}, \dots, M^m_{gi}$ ,  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$  olsun.

Buradaki tüm  $M^j_{gi}$  ( $j = 1, 2, 3, 4, \dots, m$ ) değerleri üçlü bulanık sayılardır. Yöntem adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1:  $i$ . Nesneye göre bulanık değerler Eşitlik (2.1)’deki gibi tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \otimes \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (M^j_{gi}) \right)^{-1} \quad (2.1)$$

Buradaki

$\sum_{j=1}^m (M^j_{gi})$  değerini elde etmek için aşağıda Eşitlik (2.2)’de gösterilen ek bulanık işlemin yapılması gerekmektedir.

$$\sum_{j=1}^m (M^j_{gi}) = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2.2)$$

$$\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \right) M^j_{gi}^{-1} \text{ değerinin elde edilmesi için } M^j_{gi} \text{ (} j=1, 2, 3, 4, 5, \dots, m \text{) ile ilgili Eşitlik}$$

(2.3)’teki bulanık işlem yapılmalıdır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (M_{g_i}^j) = \sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \quad (2.3)$$

Bu işlem tamamlandıktan sonra tersinin alınması Eşitlik (2.4)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \right) M_{g_i}^j \left[^{-1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (2.4)$$

Buradaki l, m ve u değerleri üçlü bulanık sayıları göstermektedir.

Adım 2:  $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  olasılığı Eşitlik (2.5)'deki gibidir.

$$(2.5)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = [ \text{enküçük} ( \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y) ) ]$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{aksi durumlarda} \end{cases}$$

$M_1$  ve  $M_2$ 'yi karşılaştırabilmek için hem  $V(M_2 \geq M_1)$  hem de  $V(M_1 \geq M_2)$  değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Adım 3: Diğer bütün bulanık sayılardan  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k$ ) büyük olan bir bulanık sayının olasılığı şu şekilde ifade edilebilir;

$$V(M \geq M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } (M \geq M_3) \text{ ve } (M \geq M_4) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] = \text{En küçük } V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k \text{ Her } k = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n; k \neq i \text{ içind } (A_i) = \text{en küçük } V(S_i \geq S_k) \text{ olsun.}$$

Buna göre ağırlık vektörü Eşitlik (2.6)'daki gibi oluşur.

$$W_1 = (d^1(A_1), d^1(A_2), d^1(A_3), d^1(A_4), d^1(A_5), \dots, d^1(A_n))^T \quad (2.6)$$

Adım 4: Ağırlık vektörü Eşitlik (2.7)'deki gibi normalize edilir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), d(A_3), d(A_4), d(A_5), d(A_6), \dots, d(A_n))^T \quad (2.7)$$

Burada elde edilen  $W$  değeri bulanık değil tam kesinlik gösteren bir sayıdır.

### Bulanık TOPSIS (BTOPSIS)

TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden biridir. TOPSIS yöntemi ile pozitif ideal çözüme en yakın uzaklığa ve negatif ideal çözüme en fazla uzaklığa göre alternatiflerin belirli kriterler doğrultusunda sıralaması yapılmaktadır.

İnsan yargılarının belirsizliği nedeniyle klasik TOPSIS yerine bulanık TOPSIS yönteminin kullanımı değerlendirmelerde daha iyi sonuçlar alınmasını sağlayabilmektedir. Yöntem adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Alternatiflerin ( $i$ ) üretilerek değerlendirme kriterlerinin ( $j$ ),  $s$  sayıda karar vericinin ( $KV$ ) ve sözel ifadelerin ve onlara karşılık gelen bulanık üçgen ya da yamuk sayıların belirlenmesi.

Adım 2: Eşit önemdeki  $s$  tane karar vericinin oluşturduğu grupta, alternatiflerin kriter değeri,  $x_{ij}^s$ ,  $s$ . karar vericinin  $j$ . kritere göre  $i$ . alternatifi değerlendirdiği sözel ifadenin bulanık karşılık değerini göstermek üzere Eşitlik (2.8)'deki gibi hesaplanır.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{s} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^s] \quad (2.8)$$

Önem ağırlıkları farklı olan s tane karar vericinin oluşturduğu grupta, alternatiflerin kriter değeri ise Eşitlik 2.9'daki gibidir  $w_{kv}$ , s. karar vericinin karardaki ağırlığını göstermek üzere hesaplanır.

$$\tilde{x}_{ij} = [W_{kv^1} \otimes \tilde{x}_{ij}^1 + W_{kv^2} \otimes \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + W_{kv^s} \otimes \tilde{x}_{ij}^s] \quad (2.9)$$

Adım 3:  $x_{ij}$  bulanık sözel değişkenler olmak üzere; bulanık karar matrisi, Eşitlik (2.10)'daki gibi oluşturulacaktır.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Kriter ağırlıklarının bulanık ( $\tilde{w}_j$ ) ve bulanık olmadığı ( $w_j$ ) durumlarda ağırlık matrisleri sırasıyla,  $\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]$  ve  $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$  şeklindedir.

Adım 4: Bulanık Karar Matrisi Eşitlik (2.11)'daki gibi normalize edilir.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (2.11)$$

Matrisin elemanları Eşitlik (2.12) ve Eşitlik (2.13)'de gösterildiği şekilde B (fayda) ve C (maliyet) kriterleridir.

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{l_{ij}}{u_j^*}, \frac{m_{ij}}{u_j^*}, \frac{u_{ij}}{u_j^*} \right), \quad j \in B, u_j^* = \max_i u_{ij} \text{ ya da} \quad (2.12)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right), \quad j \in C, l_j^- = \min_i l_{ij} \quad (2.13)$$

Elde edilen her bir  $\tilde{r}_{ij}$  değeri normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır.

Adım 5: Her bir kriter için farklı ağırlıklar göz önünde bulundurularak, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi,  $\tilde{V} = [V_{ij}]_{m \times n}$  şeklinde oluşturulur.  $V_{ij}$  Eşitlik (2.14)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$V_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j \quad (2.14)$$

Burada normalize edilmiş bulanık karar matrisi ( $r_{ij}$ ) ile bulanık ağırlıklar matrisinin ( $w_j$ ) çarpımı, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisini ( $\tilde{V}_{ij}$ ) vermektedir.

Adım 6: Normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilmesinin ardından bulanık pozitif ideal çözüm (BPİÇ,  $A^+$ ) ve bulanık negatif ideal çözüm (BNİÇ,  $A^-$ ) bulunmaktadır.  $A^+ = [\tilde{V}_1^*, \tilde{V}_2^*, \dots, \tilde{V}_n^*]$  ve  $A^- = [\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-]$ . Burada verilen  $\tilde{V}_j^* = \max_i \{ V_{ij}^* \}$  ve  $\tilde{V}_j^- = \min_i \{ V_{ij}^- \}$ 'dir.

Her bir alternatifin BPİÇ ve BNİÇ'ten uzaklıkları sırasıyla, Eşitlik (2.15) ve Eşitlik (2.16)'deki gibi hesaplanır.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(V_{ij}, V_{ij}^*) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.15)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(V_{ij}, V_{ij}^-) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.16)$$

Burada  $d_v(.,.)$ ,  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$  ve  $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$  gibi iki üçgensel bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermekte ve Eşitlik (2.17)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{1/3 * [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (2.17)$$

Adım 7: Alternatiflerin sıralamasını belirlemek adına Eşitlik 2.18'deki yakınlık katsayısı hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.18)$$

Alternatifler yakınlık katsayılarına göre en yüksek puandan en düşük puana doğru sıralanır.

## UYGULAMA

Çalışmamızda kalıp imalatı yapmakta olan küçük ölçekli bir firmanın karar sürecinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. İşletmeye ait dönemlik 5 adet Ar-Ge projesinin seçim süreci için işletme içinde çeşitli birimlerden süreçte söz sahibi olan 5 karar verici belirlenmiş ve karar verici tercihleri anket yoluyla belirlenmiştir.

İşletme çalışanları ile yapılan görüşmeler sonucu 4 ana kriter (C1 = Proje, C2 = Risk, C3= Uygunluk, C4 = Maliyet) olmak üzere toplamda 12 kriter belirlenmiştir. Dönemlik 5 adet Ar-Ge projesi P1, P2, P3, P4 ve P5 olarak kodlanmıştır. Kriterler ve açıklamaları Tablo 3.1’de yer almaktadır.

Tablo 3.1. Ar-Ge Projeleri Kriter Tanımlamaları

C11. Proje Büyüklüğü: Projenin toplam bütçesi
C12. Ürün ve Süreçte Farklılaştırma: Proje çıktısının başka ürünlere dönüştürülmesi ve farklılaştırılabilme seviyesi
C13. Projenin İç Dinamiği: Rakiplere karşı ticari başarı olasılığı, müşteri kabulü
C14. Projenin İşletmeye Teknik Katkısı: Projenin gerçekleştirileceği işletmeye olan ürün/süreç bazında teknik katkısı
C21. Ar-Ge Riskleri: Geliştirme süresi, araçları, verimliliği gibi riskler
C22. Ürün Ticarileştirme Riski: Proje çıktısının ticarileştirilebilmesi
C23. Projenin Karmaşıklığı: Projenin anlaşılması zor olan adımları, zorluk seviyesi
C31. Projenin İşletme İçin Uygunluğu: Önceki benzer projeler için işletmeye uygunluk, işletmenin projeyi kabul etme durumu
C32. Kapasite: Üretimdeki çalışan sayıları ve becerileri, var olan kapasitenin projeye uyumu
C33. Gerekli Ekipman/Malzeme/Teknolojinin Bulunabilirliği: Proje kapsamında ihtiyaç duyulan teknik malzeme ekipman ve teknolojinin var olması
C41. Dış Kaynak Kullanımı: Proje için alt yüklenicilerin durumu, mevcut olup olmama durumu
C42. Projenin Maliyeti: Proje için gerekli olan maliyet

Çalışmanın ilk setinde 5 Karar Verici arasından 2 kişilik Karar Verici Değerlendirme Komitesi(KVVK) oluşturulmuştur.

KVVK’ya karar vericilerin proje seçim karar sürecindeki etki düzeylerini belirleyebilmeleri için anket düzenlenmiş ve bulanık üyelik fonksiyonlarına ulaşılmıştır. BNP (en iyi sayı yöntemi) kullanılarak durulaştırma yapılmış kesin değerler elde edilmiştir. Ve normalizasyon işlemi ile her bir karar verici için ağırlıklar ortaya konmuştur. Çalışmanın diğer setinde tüm adımlar ve değerlendirme

verileri sabit tutularak karar verici ağırlıklandırılması yapılmamıştır. Yani 5 karar vericinin karar sürecindeki etkileri eşit (0,200 olarak) alınmıştır. KVDK ile yapılacak karar verici ağırlık hesabında karar vericilerden etki düzeylerini sözel değişkenlerle belirtmeleri istenmiştir. Tablo 3.3’de sözel değişkenlerin derecesi ve bulanık sayı karşılıkları bulunmaktadır.

Birleştirilmiş bulanık sayılar hesaplandıktan sonra durulaştırma yapılmalıdır. Bunun için Eşitlik (3.1)’deki En İyi Gerçek Sayı Değeri-(BNP) yönteminden yararlanılmıştır.

$$d^1(BNP_{ij}) = [(u_{ij} - l_{ij}) + (m_{ij} - l_{ij})] / 3 + l_{ij} \quad (3.1)$$

Tablo 3.4.’de karar verici ağırlıkları verilmektedir.

Tablo 3.3.Sözel Değişkenler

Etki	Derece	l	m	u
Çok Yüksek(ÇY)	7	0,9	1	1
Yüksek(Y)	6	0,7	0,9	1
Orta Yüksek(OY)	5	0,5	0,7	0,9
Orta(O)	4	0,3	0,5	0,7
Orta Düşük(OD)	3	0,1	0,3	0,5
Düşük(D)	2	0	0,1	0,3
Çok Düşük(ÇD)	1	0	0	0,1

7

Tablo 3.4. Karar Verici Ağırlıkları

Karar Vericiler	Normalize Ağırlıklar	
	KVDK Ağırlıkları	Eşit Ağırlık
KV1	0,333	0,200
KV2	0,264	0,200
KV3	0,207	0,200
KV4	0,080	0,200
KV5	0,115	0,200

Karar verici ağırlıkları ve kriterler belirlendikten sonra Bulanık AHP yöntemine ait sözel değişkenler belirlenmiştir. Tablo 3.5’deki ölçek ile her karar vericinin kriterleri değerlendirmeleri sağlanmıştır. Karar vericilerin ağırlıklarına bağlı olarak tek bir karar matrisi oluşturulur. Kriter ağırlıkları karar

verici değerlendirmelerinin iki durumu için de Chang'ın Genişletilmiş Analiz Yöntemi ile tespit edilmiştir.

Tablo 3.5. Kriter Ağırlıklandırma İçin Sözel Değişkenler ve Bulanık Ölçekler

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Önemde	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Biraz Daha Fazla Önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)
Kuvvetli Derecede Önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok Kuvvetli Derecede Önemli	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Aşırı Derecede Önemli	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

Karar verici ağırlıklarının KVDK ile belirlenmesi ve eşit olarak alınması durumunda hesaplanan kriter ağırlıkları Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Karar Verici Ağırlıkları Dikkate Alınarak Chang Yöntemi İle Hesaplanan Kriter Ağırlıkları

Kriter No	Kriter Ağırlıkları	
	KVDK Ağırlıkları	Eşit Ağırlık
C <sub>11</sub>	0,073	0,0751
C <sub>12</sub>	0,0702	0,0701
C <sub>13</sub>	0,0871	0,0878
C <sub>14</sub>	0,0819	0,0918
C <sub>21</sub>	0,0845	0,0827
C <sub>22</sub>	0,0816	0,0815
C <sub>23</sub>	0,0808	0,0867
C <sub>31</sub>	0,0849	0,0831
C <sub>32</sub>	0,0933	0,0866
C <sub>33</sub>	0,0859	0,0845
C <sub>41</sub>	0,0936	0,0882
C <sub>42</sub>	0,0832	0,0818



Kriter adımıdan sonra karar vericilerle görüşme sağlanarak Ar-Ge projelerini değerlendirmeleri için anketler yapılmıştır. Ankette kullanılan sözel değişkenler Tablo 3.7’de verilmiştir. Bulanık TOPSİS yöntemi için sözel değişkenler belirlenmiştir. Karar verici ağırlıkları göz önünde bulundurularak her karar vericinin değerlendirme matrisi tek bir karar matrisi haline dönüştürülmüştür.

Tablo 3.7. Ar-Ge Proje Değerlendirme İçin Sözel Değişkenler ve Bulanık Karşılıkları

Sözel Değişkenler	Bulanık Karşılıklar		
Çok Az(ÇA)	0	0	1
Az(A)	0	1	3
Orta Az(OA)	1	3	5
Orta(O)	3	5	7
Orta Fazla(OF)	5	7	9
Fazla(F)	7	9	10
Çok Fazla(ÇF)	9	10	10

Karar verici ağırlıklarının KVVK ile belirlenmesi ile karar verici ağırlıklarının eşit alınması durumunda, farklı birleştirilmiş karar matrisleri ve farklı kriter ağırlıklarının hesabı neticesinde Bulanık TOPSİS yönteminin işlem adımları izlenmiştir.

Birleştirilmiş bulanık karar matrislerinin hazırlanmasından sonra  $u_j^* = \max_i u_{ij}$  ve  $l_j^- = \min_i l_{ij}$  eşitlikleri kullanılarak fayda ve maliyet kriterleri dikkate alınmış ve “normalize bulanık karar matrisi” oluşturulmuştur. Sonrasında belirlenen kriter ağırlıkları ile matrisin değerleri çarpılarak “ağırlıklı bulanık normalize karar matrisi” oluşturulmuştur.

Ağırlıklı bulanık normalize karar matrisi oluşturulduktan sonra “bulanık pozitif ideal ve bulanık negatif ideal çözüm”lerin BPIÇ-BNİÇ( $A^*$  ve  $A^-$ ) hesabı yapılmıştır. Buradan formül yardımı ile CC<sub>i</sub> yakınlık indekslerine göre alternatif projeler sıralanmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Kriter ağırlıklandırmaları yapıldığında Karar Verici Ağırlıklarının KVVK ile Belirlenmesi durumunda en önemli etkiye sahip kriter C<sub>41</sub> ( dış kaynak kullanımı) iken en düşük öneme sahip kriter C<sub>12</sub> (ürün ve süreçte farklılaştırma) olmuştur. Karar verici ağırlıklarının eşit alınması durumunda ise en önemli kriter C<sub>14</sub> (projenin işletmeye teknik katkısı) ve en düşük ağırlıktaki kriter de c<sub>12</sub> (ürün ve süreçte farklılaştırma) olarak bulunmuştur. Karar verici ağırlıklarının KVVK ile belirlenmesi durumu ve karar verici ağırlıklarının eşit alınması durumları için 5 karar vericinin kriter değerlendirmesi sonucu Bulanık AHP’de Chang Yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıklarının sayısal değerleri değişiklik göstermiştir.

Bulanık TOPSİS sonucu elde edilen yöntem değerleri Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Ar-Ge Projeleri Yakınlık İndeks Değerleri ve Sıralama Sonuçları

Proje Kodu	Karar Verici Ağırlıklarının KVDK ile Belirlenmesi Durumu				Karar Verici Ağırlıklarının Eşit Alınması Durumu			
	$d_i^*$	$d_i^-$	$CC_i$	Sıralama	$d_i^*$	$d_i^-$	$CC_i$	Sıralama
P1	0,5796	0,3861	0,39982	2	0,5853	0,3830	0,39556	2
P2	0,5234	0,4727	0,47454	1	0,5097	0,4836	0,48686	1
P3	0,5900	0,3636	0,38132	3	0,6007	0,3519	0,36937	4
P4	0,6936	0,2562	0,26974	5	0,6757	0,2874	0,29838	5
P5	0,6214	0,3511	0,36104	4	0,5916	0,3823	0,39251	3

Bulanık TOPSİS yöntemi uygulandıktan sonra karar verici ağırlıklarının KVDK ile belirlenmesi ve karar verici ağırlıklarının eşit alınması durumları için  $CC_i$ : Yakınlık İndeks değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler büyükten küçüğe doğru sıralandığında alternatif projeler için öncelik sıralaması ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.8’de görüldüğü gibi karar verici ağırlıklarının KVDK ile belirlenmesi durumunda  $CC_i(0,47454)$  yakınlık indeks değerine göre en önemli proje P2 iken, öncelik sıralamasında 5.sırada yer alan proje  $CC_i(0,26974)$  yakınlık indeks değeri ile P4 projesi olmuştur. Karar verici ağırlıklarının eşit alınması durumu için  $CC_i(0,48686)$  yakınlık indeks değerine göre en önemli proje yine P2 iken, 5.sırada yer alan proje  $CC_i(0,29838)$  yakınlık indeks değeri ile yine P4 projesi olmuştur.

Karar verici ağırlıklarının KVDK ile belirlenmesi durumunda Ar-Ge Projelerinin Öncelik sıralaması; P2-P1-P3-P5-P4 iken karar verici ağırlıklarının eşit alınması durumunda;P2-P1-P4-P5-P3şeklinde oluşmuştur. Öncelikli olarak tercih edilecek P2 projesi sabittir.

Bulanık ortamda karar vericilerin değerlendirdiği Ar-Ge projeleri için oluşturulan ağırlıklı karar matrisi hem karar vericilerin hem kriter ağırlıklarının farklı olması sebebiyle iki durum için de değişiklik göstermiştir. Bu bağlamda diğer tüm parametreler sabit iken karar verici ağırlıklarının değişmesi Ar-Ge projelerinin seçim sürecinde öncelik sıralamalarına da etki etmektedir.

Bu değişiklikten ilk öncelik sırasındaki P2 projesi etkilenmez iken karar verici ağırlıklarının farklı alınması P3 ve P4 projelerinin sıralamasında yer değişikliğine sebep olmuştur. Bu bağlamda karar vericilerin ağırlıkları için projelerin seçim kararına farklı yorumlar getirebilmektedir. Örneğin karar verici ağırlıklarının KVDK ile belirlenmesi durumunda KV1’in ağırlığı diğer karar vericilerden anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Çalışmada bu durum P3 ve P4 projelerinde olduğu gibi sıralama sonuçları için farklılık yaratmıştır.

Güler, Avcı, Alkan, Aladağ (2018) çalışmalarında aynı karar vericiler ile(karar vericilerin ağırlıkları KVDK ile ortaya konmadan) aynı kriterleri kullanılarak alternatif Ar-Ge projelerini Topsis yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Yöntem sonucunda proje öncelik sıralamasıP2-P1-P5-P3-P4şeklindedir.

Bulanık ortamda (BTOPSİS) yapılan değerlendirmede ise sıralama P2-P1-P4-P5-P3 şeklindedir. P2 projesi ilk öncelikte seçilen proje iken diğer projelerin öncelikleri (P1 hariç) değişiklik göstermiştir. Bu çalışmadaki analiz diğer parametreler sabit tutulduğunda bulanık yaklaşımın karar sonucu üzerindeki etkisini gösterebilmektedir.

Yapılan bu çalışma ise kullanılan yöntem dahil diğer tüm parametreler sabitken karar vericilerin ağırlıklarının öncelik sonuçları üzerindeki etkisini göstermeye imkan sağlamakta ve karar verici ağırlıklarının farklı durumları ile birlikte bulanık çok kriterli karar yaklaşımı ile karar vericilere alternatif bir değerlendirme sunabilmektedir.

**KAYNAKÇA**

- Arıbaşı M., Özcan U.(2016), Akademik Araştırma Projelerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi , Politeknik Dergisi, 19 (2) sf. 163-173.
- Cakır, E. (2015). Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin 6 Sigma Projeleri Seçiminde Uygulanması. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Chen, S. M., 1996, "Evaluating Weapon Systems Using Fuzzy Arithmetic Operations", *Fuzzy Sets and Systems*, 77, 265-276.
- Chen, C.-T. (2000) Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 114, s. 1, ss. 1-9.
- Eleren, A. ve Ersoy, M. (2007) Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi, *Madencilik*, c. 46, s. 3, ss. 9-22.
- Güler, E., Avcı, S., Alkan, A., & Aladağ, Z. (2018). Bir Üretim İşletmesinde Dematel ve Topsis Yöntemleri İle Ar-Ge Projelerinin Seçimi. *Zeugma I. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi* (s. 116). Gaziantep: İksad Yayınevi.
- Heidenberger, K., & Stummer, C. (1999). Research and Development Project Selection and Resource Allocation: A Review of Quantitative Modeling Approaches. *International Journal of Management Reviews* , 1 (2), sf. 197-224.
- Osawa, Y., & Murakami, M. (2002). Development And Application Of A New Methodology Of Evaluating Industrial R&D Projects. *R&D Management*, 32 (1), ss. 79-85.
- Nobelius, D. (2004). Towards the Sixth Generation of R&D Management. *International Journal of Project Management* , 22, 369-370.
- Paksoy, T., Pehlivan, N. Y. ve Özceylan, E. (2013) Bulanık Küme Teorisi, Nobel Yayın: Ankara.
- Peker, D. (2014). Ar-Ge Projelerinin Önceliklendirilmesi Ve Seçimi İçin Çok Kriterli Bir Model Önerisi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Piippo, P., Karkkainen, H., Ojanen, V. ve Tuominen, M. (1999) "Problems And Promotion Of R&D Project Selection in Finnish High-Tech Manufacturing Companies", *Proceedings of PICMET '99 Conference*, Portland, USA.
- Sarı, E.B., (2017), Endüstri İşletmelerinde Ar-Ge Projelerini Öncelik Sıralamasında Entropi Ağırlıklı Topsis Yöntemine Dayalı Çok Kriterli Bir Analiz, 11(3), ss. 159 -170
- Westland, J. (2003). *Project Management Guideline*. ABD: Method123 Ltd.
- Zerenler, M., Türker, N., & Şahin, E. (2007). Küresel Teknoloji, Araştırma Geliştirme(Ar-Ge) ve Yenilik İlişkisi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17, 653-667.