



## AR-GE PROJE SEÇİM SÜRECİ İÇİN YENİ BİR ENTEGRE SEZGİSEL BULANIK GRUP KARAR VERME YAKLAŞIMI

Bahadır Fatih YILDIRIM<sup>1\*</sup>, Sultan KUZU YILDIRIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi, Ulaştırma ve Lojistik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sayısal Yöntemler Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Sezgisel Bulanık Sayılar, Gri İlişkisel Analiz, Sezgisel Bulanık Grup Karar Verme, Çok Kriterli Karar Verme.</i>	AR-GE projeleri ciddi yatırım ve işgücü planlaması gerektiren projelerdir. Başarılı bir şekilde organize edilen AR-GE projeleri, hem işletmeye hem de ülkeye önemli katma değer sağlamaktadır. Gerek fon sağlayan kurum, gerekse proje önerisinde bulunan işletme açısından uygun projenin değerlendirilmesi kompleks bir karar sürecidir. Bu çalışmada bir işletmenin AR-GE departmanı tarafından önerilen 4 proje alternatifi arasından, 2021 yılı için değerlendirmeye sunulacak en uygun AR-GE projesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Proje değerlendirme karar sürecinin etkinliğini artırmak üzere dilsel değişkenler ve bulanık sezgisel sayı karşılıkları ile alternatifler değerlendirilmiş ve karar matrisi oluşturulmuştur. Son adımda sezgisel bulanık gri ilişkisel analiz yöntemi uygulanarak en ideal projeye karar verilmiştir. Analiz sonucuna göre proje önerisi alternatifleri arasından A2'nin en ideal proje, A3'ün ise idealden uzak proje olduğu belirlenmiştir. Araştırmada, proje seçiminde kullanılmak üzere, grup kararını birleştiren ve karar sürecindeki belirsizliği azaltan yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

## A NEW INTEGRATED INTUITIONISTIC FUZZY GROUP DECISION MAKING APPROACH FOR R&D PROJECT SELECTION PROCESS

Keywords	Abstract
<i>Intuitionistic Fuzzy Numbers, Grey Relational Analysis, Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making, Multi Criteria Decision Making.</i>	R&D projects require serious investment and workforce planning. Successfully organized R&D projects provide significant added value to both the business and the country. Evaluating the appropriate project for both the funding institution and the business proposing the project is a complex decision process. This study, it was aimed to determine the most suitable R&D project to be evaluated for 2021 among the 4 projects alternatives proposed by the R&D department of an enterprise. To increase the effectiveness of the project evaluation decision process, linguistic variables and intuitionistic fuzzy number equivalents and alternatives were evaluated and a decision matrix was created. In the last step, the most ideal project was determined by applying the intuitionistic fuzzy grey relational analysis method. According to the results of the analysis, it was determined that among the project proposal alternatives, A2 was the most ideal project and A3 was far from ideal. A new approach to the project selection process is proposed that unifies the group decision and reduces the uncertainty in the decision process.

### Alıntı / Cite

Yıldırım, B. F., Kuzu Yıldırım, S., (2022). AR-GE Proje Seçim Süreci İçin Yeni Bir Entegre Sezgisel Bulanık Grup Karar Verme Yaklaşımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(2), 643-653.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. F. Yıldırım, 0000-0002-0475-741X  
S. Kuzu Yıldırım, 0000-0001-6577-1584

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	29.07.2021
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	23.02.2022
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	27.02.2022
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.06.2022

\* İlgili Yazar / Corresponding author: mbahadrf.yildirim@istanbul.edu.tr, +90-212-440-00-00

## 1. Giriş (Introduction)

Günümüzde işletmeler, artan rekabet koşullarına uyum sağlamak, faaliyet gösterdiği sektörün dinamikleri ölçeğinde yaşanan gelişmeleri takip etmek ve sektörde öncü konumda bulunmasını sağlayacak araştırma geliştirme faaliyetleri yürütmek durumundadır. Kaynakların kıt ve sınırlı olduğu, gelişim ve değişim sürecinin ise çok hızlı olduğu bu dönemde işletmenin sahip olduğu finans, iş gücü kaynaklarını ve zamanı doğru alanda ve doğru projelerde değerlendirmesi işletmenin rekabet edebilirliğinde kritik öneme sahiptir. İçinde bulunduğumuz dönem, işletmelere mevcut kaynaklarını kullanmalarında hata şansı tanımamakta, etkin çıktı üretmeyen projeler, kıt kaynakların boşa harcanmasına, dolayısıyla işletmelerin rekabet avantajını kaybetmesine, hatta işletmenin varlığını sürdüremez hale gelmesine neden olmaktadır. Bilim ve teknolojiye ilerleme kaydetmek, yeni ürün ve sistemler üretmek amacıyla yürütülen AR-GE projeleri, işletmelere sağladığı avantajların yanı sıra devletler için de önem arz etmektedir. OECD tarafından yayımlanan, AR-GE ve ilgili kavramların açıklandığı Frascati kılavuzunda AR-GE, "İnsanlığın bilgi dağarcığının artırılmasına ve bu dağarcığın yeni uygulamalar tasarlamak üzere kullanılmasına ilişkin sistematik ve yaratıcı çalışmalar" olarak tanımlanmıştır (OECD, 2015). Günümüzde devletler ulusal çıkarları doğrultusunda belirledikleri politikalara uygun, düzenli ve sistemli AR-GE faaliyetlerinin yürütülmesini sağlamak amacıyla özel sektörün/akademinin AR-GE projelerine finansal destek sağlamakta, büyük ölçekli projelerde ortak olarak projelere dahil olmaktadır.

Kurum ve kuruluşların sahip oldukları kısıtlı kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda bilimsel ve teknolojik hedeflerine katkı sağlayacak AR-GE projelerinin seçimi, içerisinde belirsizlik barındıran, kompleks ve bilgi yoğun bir karar problemi olarak ortaya çıkmaktadır. AR-GE projesi seçim ve değerlendirme süreci birbiri ile ilişkili ve çelişen çok kriter içeren, değerlendirmelerde ölçüm hatalarına sebebiyet verecek belirsizlikler barındıran bir süreçtir. Bu nedenle literatürde birçok araştırmacı tarafından etkin karar almayı sağlamak üzere matematik modeller kullanılarak seçim sürecinin incelendiği görülmektedir. Proje seçim süreci birden fazla alternatif ve birden fazla kriterden oluşan tipik bir Çok Kriterli Karar Verme problemidir. Literatürde farklı sektörlerde, farklı ölçeklerde işletme için proje seçim süreci ÇKKV yöntemleri ile incelenmiştir.

Bu çalışmada bir işletmenin AR-GE departmanında 2021 yılı içerisinde yürütülmesi muhtemel AR-GE projelerinden en uygun olanını belirlemek ve kaynak planlamasını en uygun projeyi baz alarak etkin bir şekilde hazırlamak üzere proje alternatifleri değerlendirilmiştir. Bu bağlamda çalışma aşağıdaki başlıklarda organize edilmiştir. Çalışmanın izleyen 2. Bölümünde proje seçim sürecine yönelik ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı literatür incelenmiş, 3. Bölümde sezgisel bulanık sayılar hakkında teorik bilgilere değinildikten sonra 4. Bölümde Gri ilişkisel analiz yönteminin sezgisel bulanık sayılar ile genişletildiği Sezgisel Bulanık Gri İlişkisel Analiz yöntemi incelenmiştir. Ardından çalışmada incelenen işletmenin AR-GE departmanında hazırlanan 4 proje önerisinden 2021 yılı için değerlendirmeye alınacak en uygun projenin belirlenmesine yönelik uygulama yapılarak son bölümde bulgular, sonuçlar ve öneriler tartışılmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

İşletmeler artan rekabet koşullarında varlıklarını korumak ve sürdürülebilir bir büyüme sağlamak için AR-GE projelerine daha çok önem vermektedir. AR-GE projelerinin seçimi ise oldukça karmaşık bir karar verme sürecidir. Bu süreç, fırsat ortamlarının araştırılması, proje seçeneklerinin oluşturulması, hem nitel hem de nicel olmak üzere birden çok niteliğin farklı paydaşlar tarafından değerlendirilmesi gibi birçok boyut içerir. Ayrıca işletmeler kısıtlı kaynaklarını rasyonel şekilde değerlendirebilmek için karşılaştığı alternatifler arasından en optimal seçimi yapmak zorundadır. Bu durumlar göz önüne alındığında AR-GE projelerinin seçim süreçlerinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin oldukça yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Osawa ve Murakami (2002), işletme yöneticileri ve proje liderlerinin harcadığı zamanı azaltmak amacıyla, nitel ve nicel kriterleri göz önüne alan çok kriterli yeni bir metod önermiştir. Elektrik endüstrisinde 150 proje ile yapılan araştırmada yöntemin AR-GE projelerinin seçiminde faydalı olduğu belirtilmiştir. Hsu vd. (2003) ve Huang vd. (2008) bulanık AHP yöntemi ile devlet destekli AR-GE projelerinin seçim sürecini incelemişlerdir. Liang (2003), otomotiv sektöründeki AR-GE projelerinin değerlendirmesinde AHP yöntemini kullanmış, projelerin sonlandırılması veya devam etmesi yönündeki karar sürecini yapılandırmıştır. Wang vd.(2005), projelerin değerlendirilmesinde ulusal ekonomiye katkıları ve gelişmişlik düzeyine etkileri gibi kriterleri önemsemıştır. Araştırmada bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Lawson vd. (2006), KOBİ'lerin AR-GE projesi seçim kararında risk kriterlerini (teknik, ticari) de göz önünde bulunduran yeni bir hibrit model önermiştir. Mohanty vd. (2007), AR-GE projelerinin seçim sürecinde bulanık maliyet analizi ile birlikte bulanık ANP yöntemini kullanmışlardır. Önerilen bulanık yaklaşım ile tercihlerdeki belirsizliğin üstesinden gelmek amaçlanmıştır. Eilat vd. (2008) Veri Zarflama Analizini dengeli puan kartları ile genişleterek AR-GE projelerinin seçiminde yeni bir model önermiştir. Tolga ve Kahraman (2008), alternatif AR-GE projeleri arasından seçim yapmak için parasal (bulanık reel opsiyon

değeri) ve parasal olmayan (yetenek, başarı olasılığı, trendler vb.) kriterleri dikkate alan bulanık AHP yöntemi kullanmıştır.

Yakıcı Ayan ve Perçin (2012), Tolga (2008), AR-GE projelerinin seçiminde grup kararına dayalı bulanık TOPSIS modelini önermişlerdir. Yıldız (2014) Bulanık VIKOR yöntemini kullanarak proje seçim sürecini incelemiştir. Sarı (2017), AR-GE projelerini sıralarken entropi ağırlıklı TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Endüstri işletmelerinin değerlendirmesine göre seçimdeki en önemli kriter projede kullanılması gereken personel sayısını minimum yapma isteği iken ikinci kriter projenin süresidir. Güler vd. (2018), TOPSIS ve DEMATEL yöntemleri ile küçük bir işletmenin AR-GE projelerini önceliklendirmiştir.

Bayraktaroğlu ve Kundakçı (2019), bulanık EDAS yöntemi ile Denizli'de faaliyet gösteren bir işletmenin AR-GE merkezinde proje seçimi için bir karar modeli önermiştir. Üç uzman karar vericinin değerlendirme kriterleri göz önüne alındığında, projenin AR-GE niteliği ve ortaya çıkan ürünün pazarda ilk niteliği taşıması proje seçiminde etkili faktörler olarak belirlenmiştir. Binici ve Aksakal (2020), UTA yöntemi ile AR-GE projelerinin seçiminin yapıldığı bir yarışmada projelerin değerlendirme sürecini incelemiştir. Marjinal faydayı dikkate alan bu yöntem ile projelerin daha etkin ve doğru şekilde sıralandığını ileri sürmüşlerdir. Kurt ve Yıldız (2020), AR-GE/İnovasyon projelerinin değerlendirilmesi için bulanık TOPSIS tabanlı karar modeli önermiştir.

AR-GE proje seçim problemleri haricinde bu çalışmada kullanılan yöntem ile benzerlik gösteren çalışmalardan Aydemir ve Şahin (2019), sağlık hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyetini etkileyen faktörleri gri ilişkisel analiz (GRA) yöntemi kullanılarak değerlendirmiştir. Yurtyapan ve Aydemir (2022), işletmeler için uygun ERP yazılımını seçmek üzere sezgisel bulanık ve aralıklı gri sayı tabanlı MACBETH yöntemi kullanmışlardır. Şahin ve Aydemir (2021), CNC makine seçimi probleminde, güçlü-zayıf yöntemiyle kriterler ağırlıklarını belirleyerek gri ilişkisel analizi, COPRAS, ve MULTIMOORA metodları ile 3 sıralama elde etmişlerdir. Altan Koyuncu vd.(2021), bir imalat şirketinin Endüstri 4.0'ı göz önünde bulundurarak değerlendireceği uygunluk modelini belirlemek için bulanık TOPSIS (FTOPSIS) ve sezgisel bulanık TOPSIS (IFTOPSIS) yöntemlerini kullanmışlardır.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Sezgisel Bulanık Küme ve Sayılar (Intuitionistic Fuzzy Sets and Numbers)

Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bulanık küme kavramı, karar problemi gibi gerçek dünya problemlerinde, insan yargı ve düşüncelerinin yer aldığı karmaşık sistemlerde ikili üyelik fonksiyonu ile ifade edilen klasik kümelerin yetersiz kalmasından yola çıkarak geliştirilmiştir. Bulanık küme teorisi muğlaklık ve belirsizliğin üstesinden gelmede etkin bir araç olarak ekonomi, mühendislik, yönetim gibi birçok farklı alanda başarı ile uygulanmıştır. Bulanık küme teorisi ile belirsizlik, olasılık teorisinin bir elemanı olarak rassallık ile eşanamlı olarak kullanılması yerine çok boyutlu bir kavram olarak ele alınmaya başlanmış ve rassallığın belirsizlik ile eşlenik olmadığı, belirsizlik kavramının sadece bir alt başlığı olduğu kabul edilmiştir (Yıldırım, 2019).

Bulanık Küme teorisinde üyelik derecesi, niteliklerin dereceli üyelik fonksiyonları ile ifade edilmesini önermektedir. Bulanık kümelerde üyelik derecesi  $[0,1]$  aralığındaki tüm değerleri alabilmekte iken klasik kümelerde sadece 0 ya da 1 değerini alabilmektedir.

Zadeh'in önerdiği ve geleneksel olarak kabul edilen bulanık küme teorisi, farklı araştırmacıların farklı eklemeleri ile farklı yaklaşımlar olarak genişletilmiştir. Bunlar arasında literatürde kabul görmüş olan Atanassov (1986) tarafından geliştirilmiş sezgisel bulanık küme teorisi birçok alanda uygulanmıştır. Zadeh'in bulanık küme teorisi sadece  $[0,1]$  aralığında tanımlı üyelik derecesini gösterecek şekilde modellenmişken, Atanassov'un sezgisel bulanık küme teorisinde geleneksel bulanık küme teorisinden farklı olarak üyelik derecesine ek olarak üye olmama (non-membership) derecesi de tanımlanmıştır. Sezgisel bulanık küme teorisinde hem üyelik hem de üye olmama dereceleri  $[0,1]$  aralığında yer almaktadır. Geleneksel bulanık küme teorisinde üyelik derecesi ve üye olmama derecesi toplamı 1 olarak hesaplanmakta ancak sezgisel bulanık küme teorisinde bu iki parametrenin toplamı 1 olmak zorunda değildir. Atanassov bu toplamı 1'e tamamlamak üzere hesistancy degree (tereddüt derecesi) isimli üçüncü bir parametre tanımlamıştır. Bu bakımdan sezgisel bulanık küme teorisinin belirsizliğin üstesinden gelmede geleneksel bulanık küme teorisinden daha etkin olduğu yapılan çalışmalar ile saptanmıştır (Xu, 2007b).

$X$  boş olmayan bir küme olmak üzere  $X$ 'de tanımlı  $A$  sezgisel bulanık kümesi

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

eşitliği ile gösterilir.  $x$  elemanın kümeye ait olma derecesi  $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$  ve ait olmama derecesi  $\nu_A(x): X \rightarrow [0,1]$  ile tanımlanır.

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, \quad \forall x \in X \quad (2)$$

sezgisel bulanık küme teorisinde üçüncü parametre olarak tanımlanan tereddüt derecesi  $\pi_A$ ,  $0 \leq \pi_A(x) \leq 1, \quad \forall x \in X$  koşulunu sağlar ve

$$\pi_A = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Sezgisel bulanık küme teorisinde kullanılan sezgisel bulanık sayılar (SBS) için tanımlanmış temel aritmetik operatörler (Yazdani et al., 2016, Yazdani et al., 2017),  $a = (\mu_a, \nu_a)$  ve  $b = (\mu_b, \nu_b)$  sezgisel bulanık sayılar olmak üzere;

$$a + b = (\mu_a + \mu_b - \mu_a \mu_b, \nu_a \nu_b) \quad (4)$$

$$a \times b = (\mu_a \mu_b, \nu_a + \nu_b - \nu_a \nu_b) \quad (5)$$

$$\lambda \cdot a = (1 - (1 - \mu_a)^\lambda, \nu_a^\lambda), \quad \lambda > 0 \quad (6)$$

$$a^\lambda = (\mu_a^\lambda, 1 - (1 - \nu_a)^\lambda), \quad \lambda > 0 \quad (7)$$

eşitlikleri ile gösterilmektedir.

### 3.2. Sezgisel Bulanık Gri İlişkisel Analiz (Intuitionistic Fuzzy Grey Relational Analysis)

Gri sistem teorisi özellikle gri ilişkisel analiz uygulamaları yönüyle farklı kullanım alanlarına sahiptir. Gri sistem teorisinde, sisteme etki eden faktörlerin belirlenebilmesi için gri ilişki analizi ve belirsizlik altında gri karar verme süreçlerine ilişkin modeller geliştirilmektedir (Aydemir vd., 2013). Gri ilişkisel analiz yönteminin sezgisel bulanık sayılar üzerinden analiz edilme aşamaları aşağıda verilmiştir.

**Adım 1.** Karar verici grup tarafından sezgisel bulanık karar matrislerinin oluşturulması.

$m$  adet alternatifin  $n$  adet kritere göre  $t$  adet karar verici tarafından değerlendirildiği bir karar modelinde,  $i$ . alternatifin  $j$  kriterine göre  $k$ . karar verici tarafından yapılan değerlendirmesi  $r_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, \nu_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$ , Tablo 1.'de yer alan dilsel değerlendirme ölçeği kullanılarak elde edilir. Bu adımda karar vericilerin tekil dilsel değerlendirmeleri Tablo 1'de yer alan sezgisel bulanık sayı karşılıklarına göre bir karar matrisine yazılır. Böylece her bir karar verici için  $R^k$  karar matrisi elde edilir.

$$R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(k)} & r_{12}^{(k)} & L & r_{1n}^{(k)} \\ r_{21}^{(k)} & r_{22}^{(k)} & L & r_{2n}^{(k)} \\ M & M & & M \\ r_{m1}^{(k)} & r_{m2}^{(k)} & L & r_{mn}^{(k)} \end{bmatrix}, \quad k \in T, \quad (8)$$

**Tablo 1.** Alternatif değerlendirme için dilsel ifadeler ve sezgisel bulanık sayı karşılıkları (Linguistic terms and equivalent intuitionistic fuzzy numbers for evaluating alternatives)

Dilsel İfade	Sezgisel Bulanık Sayı
Kesinlikle Zayıf (EP)	(0,05; 0,95; 0,00)
Çok Zayıf (VP)	(0,15; 0,80; 0,05)
Zayıf (P)	(0,25; 0,65; 0,10)
Ortalama Zayıf (MP)	(0,35; 0,55; 0,10)
Ortalama (F)	(0,50; 0,40; 0,10)
Ortalama Güçlü (MG)	(0,65; 0,25; 0,10)
Güçlü (G)	(0,75; 0,15; 0,10)
Çok Güçlü (VG)	(0,85; 0,10; 0,05)
Kesinlikle Güçlü (EG)	(0,95; 0,05; 0,00)

**Adım 2.** Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi.

Karar sürecinde karar verici grubun üyelerinin değerlendirmelerinin karar sürecinde ne derece etkili olacağını belirlemek üzere, karar vericinin önem derecesi diğer bir ifade ile ağırlığı Tablo 2.'de yer alan dilsel değişkenler kullanılarak belirlenir. Ardından tabloda yer alan sezgisel bulanık sayı karşılıklarına göre işlem yapılır.

**Tablo 2.** Karar verici ağırlıklandırma için dilsel ifadeler ve sezgisel bulanık sayı karşılıkları (Linguistic terms and equivalent intuitionistic fuzzy numbers for weighting DMs)

Dilsel İfade	Sezgisel Bulanık Sayı
Çok önemli (VI)	(0,90; 0,05; 0,05)
Önemli (I)	(0,75; 0,20; 0,05)
Ortalama (M)	(0,50; 0,40; 0,10)
Önemsiz (U)	(0,25; 0,60; 0,15)
Çok Önemsiz (VU)	(0,10; 0,80; 0,10)

$KV_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$   $k$ . karar vericinin sezgisel bulanık skorunu göstermek üzere, bu karar vericinin ağırlığı Eşitlik (9) kullanılarak hesaplanır (Boran vd., 2009).

$$\lambda_k = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^t \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}, \quad \sum_{k=1}^t \lambda_k = 1 \quad (9)$$

**Adım 3.** Bütünleşik karar matrisinin elde edilmesi.

Grup karar verme sürecinin işletildiği karar problemlerinde karar vericilerin tekil değerlendirmelerinin tek bir karar matrisinde birleştirilmesi diğer bir ifade ile bütünleşik karar matrisinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu işlem için çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş sezgisel bulanık operatörler bulunmakla birlikte bu çalışmada karar vericilerin ağırlıklarının ortalama hesaplama sürecine dahil edilmesine olanak sağladığı için Xu (2007a) tarafından önerilen Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama (IFWA) operatörü kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} r_{ij} &= IFWA_{\lambda} \left( r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(t)} \right) \\ &= \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_t r_{ij}^{(t)} \\ &= \left( 1 - \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^t \left( (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right), \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^t \left( (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right) \right) \end{aligned} \quad (10)$$

**Adım 4.** Kriter ağırlıklarının belirlenmesi.

Karar probleminde hangi kriterin karar modeline ne oranda etki edeceğinin bir ölçüsü olarak kriterlerin ağırlıklarının (önem derecelerinin) hesaplanması gerekmektedir. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde (Vlachos ve Sergiadis, 2007) tarafından önerilen sezgisel bulanık entropi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre öncelikle her bir kriter için entropi değeri Eşitlik (11) ve (12) kullanılarak belirlenir. Entropi yöntemi karar vericilerin değerlendirme yapmaksızın karar matrisinin incelenerek objektif bir ağırlıklandırma yapılmasına imkan tanımaktadır.

$$H_j = -\frac{1}{n \ln 2} \sum_{i=1}^m \left[ \mu_{ij} \ln \mu_{ij} + \nu_{ij} \ln \nu_{ij} - (1 - \pi_{ij}) \ln (1 - \pi_{ij}) - \pi_{ij} \ln 2 \right] \quad (11)$$

$$E(I) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\min(\mu_I(x_i), \nu_I(x_i)) + \pi_I(x_i)}{\max(\mu_I(x_i), \nu_I(x_i)) + \pi_I(x_i)} \quad (12)$$

Elde edilen entropi değerleri Eşitlik (13) yardımıyla kriterlere ait ağırlıkların hesaplanmasında kullanılır.

$$w_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (13)$$

**Adım 5.** Referans serinin belirlenmesi.

Referans seri her bir kriterle ait optimal değeri barındıran seridir. Sezgisel bulanık karar matrisinde maksimum değer olan  $\alpha^+ = (1, 0, 0)$ , her bir kriter için referans değeri olarak kullanılır.

$$r_0 = (r_{0j})_{1 \times n} = [\alpha^+, \alpha^+ L \alpha^+] \quad (14)$$

**Adım 6.** Gri ilişkisel katsayının hesaplanması

İki sezgisel bulanık sayı arasındaki mesafeyi hesaplamak üzere Eşitlik (8) kullanılır. (Xu ve Yager, 2008; Szmidt ve Kacprzyk, 2000):

$$d(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{1}{2} (|\mu_{\alpha_1} - \mu_{\alpha_2}| + |\nu_{\alpha_1} - \nu_{\alpha_2}| + |\pi_{\alpha_1} - \pi_{\alpha_2}|) \quad (15)$$

Gri ilişkisel katsayı alternatifin performans skorunun ( $r_{ij}$ ), referans skora ( $r_{0j}$ ) uzaklığını belirlemek üzere hesaplanır. Gri ilişkisel katsayı büyüdükçe  $r_{ij}$ 'nin  $r_{0j}$ 'ye yakınlığı söylenebilir. Gri ilişkisel katsayı Eşitlik (16) kullanılarak hesaplanır.

$$\xi_{ij} = \frac{\delta_{\min} + \rho \delta_{\max}}{\delta_{ij} + \rho \delta_{\max}}, \quad i \in M, \quad j \in N, \quad (16)$$

Eşitlikte yer alan  $\rho$ , ayırıcı katsayı olup 0 ile 1 arasında değerler alır,  $\rho \in [0, 1]$ .  $\rho$ , sıfıra yaklaştıkça (azaldıkça) gri ilişkisel katsayının aralığı genişlemektedir. Literatürde genellikle  $\rho = 0,5$  olarak kullanılmaktadır.

**Adım 7.** Gri ilişkisel derecenin belirlenmesi.

Gri ilişkisel katsayılar hesaplandıktan sonra her bir alternatifin gri ilişkisel derecesi Eşitlik (10) kullanılarak hesaplanır.

$$\gamma_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \xi_{ij}, \quad i \in M \quad (17)$$

**Adım 8.** Alternatiflerin sıralanması.

Bir önceki adımda elde edilen gri ilişkisel dereceler büyükten küçüğe sıralanarak alternatiflerin sıralaması elde edilir.

#### 4. AR-GE Proje Seçiminde Sezgisel Bulanık Gri İlişkisel Analiz Uygulaması (An Application of Intuitionistic Fuzzy GRA in R&D Project Selection)

Çalışmanın uygulama kısmında bir işletmede AR-GE departmanında hazırlanan 4 proje önerisinden 2021 yılı için değerlendirmeye alınacak en uygun projenin belirlenmesi, bir karar problemi olarak incelenmiştir. Çalışmada

İşletme gizliliği nedeniyle sektör bilgisi ve proje isimleri paylaşılmamıştır. İşletme belirleyeceği en uygun proje önerisi ile üniversite sanayii işbirliği kapsamında TÜBİTAK 1501 Sanayi AR-GE Projeleri Destekleme Programı'na başvuruda bulunacağı için karar probleminde kullanılan kriter seti, TÜBİTAK tarafından değerlendirilmede kullanılmak üzere belirlenen (i) *Endüstriyel AR-GE içeriği, teknoloji düzeyi, yenilikçi yönü*, (ii) *Proje planının ve kuruluş altyapısının proje için uygunluğu* (iii) *Proje çıktılarının ekonomik yarara ve ulusal kazanıma dönüştürülebilirliği* boyutları gözetilerek Tuzkaya ve Yolcu (2015) ve Kas Bayrakdaroğlu ve Kundakçı (2019) tarafından derlenen kriterlerden oluşturulmuştur (Tablo 3).

**Tablo 3.** Kriter Seti (Criteria set)

Kod	Kriter
C1	Proje yönetimi ve yöntem yönünden yapılabilirlik
C2	Altyapı ve ekipman yönünden yapılabilirlik
C3	Proje ekibi yönünden yapılabilirlik
C4	Proje bütçesi
C5	Yatırımın geri dönüş süresi
C6	AR-GE riskleri
C7	Pazar riskleri
C8	Finansal riskler
C9	Zaman kısıtı
C10	Paydaş ihtiyaçları bakımından önemi
C11	Katma değer
C12	AR-GE niteliği
C13	Ulusal/uluslararası pazarda ilk olma
C14	Akademik çıktı ve yeni buluşlara olanak sağlaması

İşletmenin AR-GE departmanı direktörü ve birim uzmanı ile danışman olarak proje ekibinde yer alan bir akademisyenden oluşturulan karar verici grup üyelerinin önem dereceleri Tablo 2'de yer alan dilsel değişkenler kullanılarak belirlenmiştir. Ardından Eşitlik (9) yardımıyla karar verici grubun üyelerinin ağırlıkları belirlenmiş olup Tablo 4'te özetlenmiştir.

**Tablo 4.** Karar verici grubun önem dereceleri (Importance level of the decision-makers)

Karar Verici	Dilsel Değerlendirme	SBS Karşılığı	Eşitlik (9)	$\lambda_k$
KV1	I	[0,75; 0,20; 0,05]	0,789	0,344
KV2	VI	[0,90; 0,05; 0,05]	0,947	0,413
KV3	M	[0,50; 0,40; 0,10]	0,556	0,242
Toplam			2,292	1,000

Tablo 4'te yer alan ağırlıklar incelendiğinde karar vericilerin önem dereceleri sırasıyla 34,4 %, 41,3 % ve 24,2 % olarak belirlenmiştir.

Karar verici grubun ağırlıkları belirlendikten sonra her bir karar verici bir diğer karar vericilerden bağımsız olmak üzere Tablo 1'de yer alan dilsel değişkenler yardımıyla proje alternatiflerini her bir kritere göre skorlamışlardır. Karar verici grubun değerlendirmeleri Tablo 5'te birleştirilmiş olarak gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Karar vericilerin proje alternatiflerine ait dilsel değerlendirmeleri (Linguistic evaluations of the project alternatives by the decision makers)

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A1	KV1	VG	MG	G	EG	EG	G	F	EG	P	EP	F	G	P	MP
	KV2	G	MG	G	G	VG	VG	MG	F	F	VP	F	G	P	F
	KV3	G	G	VG	EG	VG	F	VP	MG	F	EP	EG	VP	EP	VP
A2	KV1	MG	G	VG	G	G	EG	VG	F	P	EG	VG	EG	G	MP
	KV2	F	G	G	VG	G	MP	G	EP	F	F	EG	G	VG	F
	KV3	MG	VG	VG	MG	G	P	VG	EG	MP	P	MP	MG	P	EG
A3	KV1	F	VG	VG	VG	VG	EP	VP	G	MP	F	F	EP	VG	EP
	KV2	F	MG	MP	F	F	EP	MP	VP	VP	EP	P	MG	G	VP
	KV3	G	G	MP	VG	MG	MG	EG	EG	F	VP	EP	EG	MG	P
A4	KV1	F	MG	F	G	G	MP	MP	EG	P	G	P	EP	P	EG
	KV2	G	MG	MG	F	G	P	VP	G	G	G	P	VP	G	EG
	KV3	VG	G	F	VG	MG	VP	VG	F	P	VP	MP	MG	F	F

Tablo 5'te yer alan dilsel değerlendirmelerin sezgisel bulanık sayı karşılıkları Tablo 1'den derlenerek analize devam edilmiştir.

Karar vericilerin tekil değerlendirmelerini tek bir grup kararına indirgenmek için sezgisel bulanık ağırlıklı Ortalama (IFWA) operatörü Eşitlik (10) kullanılarak uygulanmıştır. Bu işlemin ardından hesaplanan ve gri ilişkisel analiz yönteminde değerlendirilecek olan sezgisel bulanık karar matrisi Tablo 6'da gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Birleştirilmiş Sezgisel Bulanık Karar Matrisi (Aggregated intuitionistic fuzzy decision matrix)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	[0,79; 0,13; 0,08]	[0,68; 0,22; 0,1]	[0,78; 0,14; 0,08]	[0,9; 0,08; 0,02]	[0,9; 0,08; 0,02]	[0,76; 0,16; 0,08]	[0,51; 0,39; 0,1]
A2	[0,59; 0,3; 0,1]	[0,78; 0,14; 0,08]	[0,81; 0,12; 0,07]	[0,78; 0,14; 0,08]	[0,75; 0,15; 0,1]	[0,72; 0,25; 0,03]	[0,81; 0,12; 0,07]
A3	[0,58; 0,32; 0,11]	[0,76; 0,16; 0,08]	[0,61; 0,31; 0,09]	[0,75; 0,18; 0,07]	[0,7; 0,22; 0,08]	[0,25; 0,69; 0,06]	[0,62; 0,35; 0,03]
A4	[0,72; 0,19; 0,09]	[0,68; 0,22; 0,1]	[0,57; 0,33; 0,1]	[0,71; 0,2; 0,09]	[0,73; 0,17; 0,1]	[0,26; 0,65; 0,09]	[0,49; 0,42; 0,08]
	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A1	[0,79; 0,17; 0,03]	[0,43; 0,47; 0,1]	[0,09; 0,88; 0,02]	[0,71; 0,24; 0,04]	[0,66; 0,23; 0,11]	[0,21; 0,71; 0,08]	[0,38; 0,53; 0,09]
A2	[0,63; 0,35; 0,03]	[0,39; 0,51; 0,1]	[0,75; 0,22; 0,03]	[0,86; 0,11; 0,02]	[0,84; 0,12; 0,04]	[0,74; 0,18; 0,08]	[0,69; 0,27; 0,04]
A3	[0,72; 0,23; 0,05]	[0,32; 0,59; 0,09]	[0,26; 0,68; 0,06]	[0,31; 0,6; 0,09]	[0,69; 0,27; 0,04]	[0,77; 0,15; 0,08]	[0,14; 0,81; 0,05]
A4	[0,83; 0,13; 0,04]	[0,52; 0,35; 0,12]	[0,66; 0,23; 0,11]	[0,28; 0,62; 0,1]	[0,29; 0,64; 0,07]	[0,57; 0,32; 0,12]	[0,91; 0,08; 0]

Tablo 6'da gösterilen birleştirilmiş sezgisel bulanık karar matrisi Eşitlik (11)-(13) kullanılarak kriterlere ait önem dereceleri belirlenmiş, Tablo 7'de özetlenmiştir.

**Tablo 7.** Kriter ağırlıkları (Criteria weights)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
$H_j$	0,248	0,233	0,238	0,188	0,194	0,248	0,270
$w_j$	0,070	0,072	0,071	0,076	0,075	0,070	0,068
	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
$H_j$	0,223	0,299	0,215	0,236	0,247	0,240	0,225
$w_j$	0,073	0,066	0,073	0,071	0,070	0,071	0,072

Kriterlerin önem dereceleri belirlendikten sonra Eşitlik (14)'de gösterildiği üzere referans seri oluşturulmuştur. Kriterlerin tamamı fayda yönlü olduğu için (maksimizasyon) referans seri değerleri en büyük sezgisel bulanık sayı olan [1; 0; 0] değerlerinden oluşturulmuştur.

Tablo 5'te yer alan karar matrisi referans seri ( $A_0$ ) ve kriter ağırlıkları ( $w$ ) ile genişletilerek Tablo 8'de gösterilmiştir.

**Tablo 8.** Nihai Sezgisel Bulanık Karar Matrisi (Intuitionistic fuzzy decision matrix)

$w_j$	0,070	0,072	0,071	0,076	0,075	0,070	0,068
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A0	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]
A1	[0,79; 0,13; 0,08]	[0,68; 0,22; 0,1]	[0,78; 0,14; 0,08]	[0,9; 0,08; 0,02]	[0,9; 0,08; 0,02]	[0,76; 0,16; 0,08]	[0,51; 0,39; 0,1]
A2	[0,59; 0,3; 0,1]	[0,78; 0,14; 0,08]	[0,81; 0,12; 0,07]	[0,78; 0,14; 0,08]	[0,75; 0,15; 0,1]	[0,72; 0,25; 0,03]	[0,81; 0,12; 0,07]
A3	[0,58; 0,32; 0,11]	[0,76; 0,16; 0,08]	[0,61; 0,31; 0,09]	[0,75; 0,18; 0,07]	[0,7; 0,22; 0,08]	[0,25; 0,69; 0,06]	[0,62; 0,35; 0,03]
A4	[0,72; 0,19; 0,09]	[0,68; 0,22; 0,1]	[0,57; 0,33; 0,1]	[0,71; 0,2; 0,09]	[0,73; 0,17; 0,1]	[0,26; 0,65; 0,09]	[0,49; 0,42; 0,08]
$w_j$	<b>0,073</b>	<b>0,066</b>	<b>0,073</b>	<b>0,071</b>	<b>0,070</b>	<b>0,071</b>	<b>0,072</b>
	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A0	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]	[1; 0; 0]
A1	[0,79; 0,17; 0,03]	[0,43; 0,47; 0,1]	[0,09; 0,88; 0,02]	[0,71; 0,24; 0,04]	[0,66; 0,23; 0,11]	[0,21; 0,71; 0,08]	[0,38; 0,53; 0,09]
A2	[0,63; 0,35; 0,03]	[0,39; 0,51; 0,1]	[0,75; 0,22; 0,03]	[0,86; 0,11; 0,02]	[0,84; 0,12; 0,04]	[0,74; 0,18; 0,08]	[0,69; 0,27; 0,04]
A3	[0,72; 0,23; 0,05]	[0,32; 0,59; 0,09]	[0,26; 0,68; 0,06]	[0,31; 0,6; 0,09]	[0,69; 0,27; 0,04]	[0,77; 0,15; 0,08]	[0,14; 0,81; 0,05]
A4	[0,83; 0,13; 0,04]	[0,52; 0,35; 0,12]	[0,66; 0,23; 0,11]	[0,28; 0,62; 0,1]	[0,29; 0,64; 0,07]	[0,57; 0,32; 0,12]	[0,91; 0,08; 0]

Referans seri ve kriter ağırlıkları ile genişletilen karar matrisinde her bir alternatifin her bir kriterine göre performans skorunun referans seriye olan uzaklıkları Eşitlik (15) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 9'da gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Alternatiflerin referans seriye uzaklıkları (Distances of alternatives to reference serie)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	Min	Max
A1	0,21	0,32	0,22	0,10	0,10	0,24	0,49	0,21	0,57	0,91	0,29	0,34	0,79	0,62	0,10	0,91
A2	0,41	0,22	0,19	0,22	0,25	0,28	0,19	0,37	0,61	0,25	0,14	0,16	0,26	0,31	0,14	0,61
A3	0,42	0,24	0,39	0,25	0,30	0,75	0,38	0,28	0,68	0,74	0,69	0,31	0,23	0,86	0,23	0,86
A4	0,28	0,32	0,43	0,29	0,27	0,74	0,51	0,17	0,48	0,34	0,72	0,71	0,43	0,09	0,09	0,74
														$\Delta$	0,09	0,91



Tablo 9'da yer alan veriler  $\rho = 0,5$  ayırıcı katsayısı ile birlikte Eşitlik (16)'da kullanılarak gri ilişkisel katsayılar hesaplanmıştır. Bu işlemin ardından gri ilişkisel katsayılar sezgisel bulanık entropi yöntemi ile hesaplanmış ağırlık katsayıları ile çarpım toplamı alınarak Eşitlik (17) gri ilişkisel dereceler belirlenmiş ve gri ilişkisel dereceler büyükten küçüğe olacak şekilde proje önerisi alternatifleri sıralanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen gri ilişkisel katsayı ve dereceler ile proje önerisi alternatiflerine ait sıralamalar Tablo 10'da gösterilmiştir.

**Tablo 10.** Gri ilişkisel katsayı ve dereceler ile alternatif sıralamaları (Grey relational coefficients, grey relational degrees and alternative rankings)

$w_j$	0,070	0,072	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	$\gamma_i$	Sıra
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14		
A1 $\xi_1$	0,82	0,70	0,80	0,98	0,97	0,78	0,57	0,82	0,53	0,40	0,73	0,68	0,43	0,50	0,697	2
A2 $\xi_2$	0,63	0,80	0,85	0,80	0,77	0,74	0,85	0,65	0,51	0,77	0,92	0,89	0,75	0,71	0,761	1
A3 $\xi_3$	0,62	0,78	0,64	0,77	0,72	0,45	0,65	0,74	0,48	0,45	0,47	0,71	0,79	0,41	0,621	4
A4 $\xi_4$	0,74	0,70	0,61	0,72	0,75	0,45	0,56	0,87	0,58	0,68	0,46	0,46	0,61	1,00	0,660	3

Analiz sonucuna göre proje önerisi alternatiflerinin sıralaması  $A_2$  f  $A_1$  f  $A_4$  f  $A_3$  şeklinde gerçekleşmiştir. Buna göre işletmenin  $A_2$  projesini TÜBİTAK'a sunmak üzere değerlendirmeye alması önerilmektedir. İdealden en uzak proje önerisi olarak  $A_3$  projesi belirlenmiştir.

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

1501 Sanayi Ar-Ge Destek Programı, ülke ihtiyaçları ve ulusal hedeflere yönelik Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme (KOBİ) ölçeğinde kuruluşların proje esaslı araştırma-teknoloji geliştirme ve yenilikçilik faaliyetlerini desteklemek üzere TÜBİTAK tarafından bütçe esaslı çağrılarla yürütülen bir programdır. TÜBİTAK 1501 Sanayi Ar-Ge Destek programına sunulacak proje önerisi/yönetim süreci işletmeler için gerek sahip olunan işgücü, finansman ve zaman gibi kaynakların kısıtlı olması, gerekse proje çağrılarının uygunluğu bakımından yönetsel bir karar problemi olarak incelenmelidir.

Karar verici konumunda bulunan yöneticilerin uygun proje önerisini belirlemek üzere deneyim ve tecrübelerine dayalı sezgilerinin karar modeline dahil edilerek karar probleminin incelenmesine olanak sağlamak üzere dilsel değerlendirme ifadelerinden faydalanılması ve dilsel ifadelerin sezgisel bulanık sayılar cinsinden karar problemine dahil edilmesi ve ÇKKV yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile analiz edilmesine dayalı bu çalışmada bir işletmenin 4 proje önerisi alternatifi 14 kriter üzerinden karar verici konumunda bulunan 3 uzman görüşlerine dayalı olarak incelenmiştir. Yapılan analiz, uzman görüşlerinin karar verici grubun yönetsel yetki/deneyim düzeyi esas alınarak ağırlıklandırılarak tek bir karar matrisinde birleştirilmesi, elde edilen karar matrisinin sezgisel bulanık entropi yöntemi ile objektif olarak ağırlıklandırılması ve son olarak sezgisel bulanık gri ilişkisel analiz yöntemi ile değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Analiz sonucunda işletmenin tasarladığı proje fikirlerinden en ideal olanı kriter setinden elde edilen skorlarına göre belirlenmiştir.

İzleyen çalışmalarda kriter önem derecelerini belirlemek üzere entropi yöntemine alternatif olabilecek CRITIC, SD gibi objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden faydalanılabilir. Ayrıca AHP, ANP, FUCOM, BWM, DEMATEL gibi subjektif ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak elde edilecek kriter önem dereceleri kullanılarak analiz tekrarlanabilir. Çalışma kapsamında kullanılan gri ilişkisel analiz yönteminde oluşturulan referans serisi en büyük sezgisel bulanık sayı olan  $[1;0;0]$  sayısından oluşturulmuştur. Referans serinin oluşturulması aşamasında sezgisel bulanık performans skorları sezgisel bulanık sayılar için tanımlanmış skor ve doğruluk fonksiyonları kullanılarak kriter için en büyük sezgisel bulanık sayının referans serisinde kullanılması şeklinde bir yol izlenerek analiz tekrarlanabilir. Bu yaklaşım sıralama sonucunu değiştirmemekle birlikte kesin sayılar cinsinden hesaplanan gri ilişkisel dereceler kullanılarak alternatiflerin birbirlerine göre göreceli skorlarının belirlenmesine imkan tanınması bakımından tercih edilebilir. Bu çalışmada uzman görüşlerine dayalı olarak hesaplanan sezgisel bulanık karar matrisi ve sezgisel bulanık ağırlık değerleri gri ilişkisel analiz yöntemi dışındaki TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, ARAS, COPRAS gibi literatürde çok bilinen yöntemler kullanılarak analiz edilebileceği gibi literatüre yakın zamanda önerilen MABAC, MAIRCA, MARCOS, EDAS gibi yöntemler ile kullanılarak analiz edilebilir ve elde edilen sonuçlar kıyaslanabilir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

## Kaynaklar (References)

- Altan Koyuncu, C., Aydemir, E., & Başarır, A. C. (2021). Selection Industry 4.0 maturity model using fuzzy and intuitionistic fuzzy TOPSIS methods for a solar cell manufacturing company. *Soft Computing*, 25(15), 10335-10349.
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96.
- Atanassov, K. T. (1999). Intuitionistic fuzzy sets. In *Intuitionistic fuzzy sets* (pp. 1-137). Physica, Heidelberg.
- Ayan, T. Y., & Perçin, S. (2012). AR-GE Projelerinin Seçiminde Grup Kararına Dayalı Bulanık Karar Verme Yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 26(2), 237-255.
- Aydemir, E., & Sahin, Y. (2019). Evaluation of healthcare service quality factors using grey relational analysis in a dialysis center. *Grey Systems: Theory and Application*.
- Aydemir, E., Bedir, F., & Özdemir, G. (2013). Gri Sistem Teorisi Ve Uygulamaları: Bilimsel Yazın Taraması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 187-200.
- Bayrakdaroğlu, F. K., & Kundakçı, N. (2019). Bulanık Edas Yöntemi ile Ar-Ge Projesi Seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (24), 151-170.
- Binici, E., & Aksakal, E. (2020). Ar-Ge proje seçim problemine yeni bir yaklaşım ve çözüm önerisi: UTA yöntemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 211-226.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368.
- Çağrı Tolga, A., & Kahraman, C. (2008). Fuzzy multiattribute evaluation of R&D projects using a real options valuation model. *International Journal of Intelligent Systems*, 23(11), 1153-1176.
- Eilat, H., Golany, B., & Shtub, A. (2008). R&D project evaluation: An integrated DEA and balanced scorecard approach. *Omega*, 36(5), 895-912.
- Güler, E., Avci, S., Alkan, Ü. A., & Aladağ, Z. (2018). Bir Üretim İşletmesinde Dematel ve Topsis Yöntemleri ile Ar-Ge Projelerinin Seçimi. *TURAN: Stratejik Arastirmalar Merkezi*, 10(40), 397.
- Hsu, Y.G., Tzeng, G.H. ve Shyu, J.Z. (2003). Fuzzy Multiple Criteria Selection of Government-Sponsored Frontier Technology R&D Projects. *R&D Management*, 33(5), 539-551.
- Huang, C. C., Chu, P. Y., & Chiang, Y. H. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega*, 36(6), 1038-1052.
- Kas Baydaroğlu, F. ve Kundakçı, N. (2019). Bulanık EDAS Yöntemi ile AR-GE Projesi Seçimi, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 2019 (24), 151-170.
- Kurt, Z. B., & Yıldız, A. (2020). Ar-Ge/İnovasyon Projelerinin Değerlendirilmesi ve Önceliklendirilmesi İçin Fuzzy TOPSIS Tabanlı Karar Modeli. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 16(2), 93-107.
- Lawson, C. P., Longhurst, P. J., & Ivey, P. C. (2006). The application of a new research and development project selection model in SMEs. *Technovation*, 26(2), 242-250.
- Liang, W. Y. (2003). The analytic hierarchy process in project evaluation: an R&D case study in Taiwan. *Benchmarking: An International Journal*. 10(5), 445-456.
- Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., & Tiwari, M. K. (2005). A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study. *International Journal of Production Research*, 43(24), 5199-5216.
- OECD (2015), Frascati Manual. Guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development. Erişim Tarihi: 12.09.2020 <http://oe.cd/frascati>
- Osawa, Y., & Murakami, M. (2002). Development and application of a new methodology of evaluating industrial R&D projects. *R&D Management*, 32(1), 79-85.
- Sahin, Y., & Aydemir, E. (2021). A Comprehensive Solution Approach for CNC Machine Tool Selection Problem. *Informatica*, 1-28.
- Sarı, E.B. (2017). "Endüstri İşletmelerinde Ar-Ge Projelerini Öncelik Sıralamasında Entropi Ağırlıklı Topsis Yöntemine Dayalı Çok Kriterli Bir Analiz", *International Journal of Academic Value Studies*, 3(11), 159 -170
- Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2000). Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 114(3), 505-518.
- Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2001). Entropy for intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 118(3), 467-477.
- Tolga, A. Ç. (2008). Fuzzy multicriteria R&D project selection with a real options valuation model. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 19(4, 5), 359-371.
- Tübitak 1501 - Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı Proje Öneri Değerlendirme Raporu (AGY 200) Hazırlama Kılavuzu. Online, Erişim Tarihi: 12.09.2020 [https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/21566/agy200\\_agy201\\_kilavuz.docx](https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/21566/agy200_agy201_kilavuz.docx)
- Tuzkaya, U. R. ve Yolver, E. (2015). R&D Project Selection by Integrated Grey Analytic Network Process and Grey Relational Analysis: An Implementation for Home Appliances Company. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 8, 35-41.
- Vlachos, I. K., & Sergiadi, G. D. (2007). Intuitionistic fuzzy information-applications to pattern recognition. *Pattern Recognition Letters*, 28(2), 197-206.
- Wang, K., Wang, C. K., & Hu, C. (2005). Analytic hierarchy process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(1), 119-129.
- Xu, Z. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 15(6), 1179-1187.
- Xu, Z. (2007a). Some similarity measures of intuitionistic fuzzy sets and their applications to multiple attribute decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6(2), 109-121.
- Xu, Z. (2007b). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 15(6), 1179-1187.
- Xu, Z., & Yager, R. R. (2008). Dynamic intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making. *International journal of approximate reasoning*, 48(1), 246-262.
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740.

- Yazdani, M., Hashemkhani Zolfani, S., & Zavadskas, E. K. (2016). New integration of MCDM methods and QFD in the selection of green suppliers. *Journal of Business Economics and Management*, 17(6), 1097-1113.
- Yıldırım, B. F. (2019). "Kredi Kartı Platformlarının Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi". *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar*, 13 (1), 37-58.
- Yıldız, A. (2014). Bulanık VIKOR Yöntemini Kullanarak Proje Seçim Sürecinin İncelenmesi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(1), 115-127.
- Yurtyapan, M. S., & Aydemir, E. (2022). ERP software selection using intuitionistic fuzzy and interval grey number-based MACBETH method. *Grey Systems: Theory and Application*, 12(1), 78-100.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.