

# Bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Makine Seçimi Problemine Uygulanması

## Application of Integrated Fuzzy DEMATEL-Fuzzy VIKOR Approach to Machine Selection Problem

Ayşe Cansu GÖK KISA, Hitit Üniversitesi, Türkiye, cansugok@hitit.edu.tr  
Selçuk Perçin, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye, spercin@ktu.edu.tr

*Öz: Makine seçimi konusu işletmelerde üretim planlaması açısından oldukça önemli bir karar problemidir. Uygun makinenin seçilmesi sürecinde üretim hızını, maliyetleri, kapasiteyi ve verimliliği etkileyen birçok kriterin birlikte göz önünde bulundurulmasının gerekliliği nedeniyle, makine seçimi problemi için etkin bir karar verme aracına ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok alanda uygulanabilirliği ile ön plana çıkan çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri bu konuda etkili bir çözüm aracı olarak kullanılabilir. Bu çalışmanın temel amacı da, ÇKKV tekniklerinin kullanılması yoluyla doğal taş sektöründe yer alan bir işletme için makine seçim problemine çözüm aramaktır. Bu amaçla, karar alma sürecindeki belirsizleri de dikkate alabilen bulanık ÇKKV yaklaşımı; bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR yöntemi makine seçimi problemine uygulanmıştır. Literatüre ve karar probleminin yapısına uygun olarak belirlenen kriterler öncelikle firma bünyesindeki yönetici ve mühendislerden oluşan karar vericilerin görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Alınan bilgiler ışığında Bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki ilişkiler belirlenerek kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Daha sonra, ilgili işletme için Bulanık VIKOR yöntemi yardımıyla üç mermer kesim makinesi alternatifi arasında en uygun olanın seçilmesi sağlanmıştır.*

*Anahtar Sözcükler: Bulanık DEMATEL, Bulanık VIKOR, Makine Seçimi*

*Abstract: Machine selection issue is a widely important decision problem from the point of production planning in operations. Because of the necessity of considering together various criteria that influencing production speed, costs, capacity and productivity in the process of selecting proper machine, there is a need to an effective decision making tool for machine selection problem. Multi-criteria decision-making (MCDM) techniques that come to the fore with its applicability in many areas can be used as an efficient solving tool in this matter. The main purpose of this study is searching a solution for a company located in the natural stone industry through the use of MCDM techniques. For this aim, fuzzy MCDM approach that takes into account uncertainties of the decision process, an integrated Fuzzy DEMATEL-Fuzzy VIKOR method has been applied to machine selection problem. The criteria determined in accordance with the literature and the structure of the decision problem is primarily evaluated through the opinions of decision makers that consist of managers and engineers in the company. In the light of obtained data, the weights of criteria are acquired by determining the relations among criteria via Fuzzy DEMATEL method. Later, it is provided to select most appropriate marble cutting machine between three alternatives for the related company by applying Fuzzy VIKOR method.*

*Keywords: Fuzzy DEMATEL, Fuzzy VIKOR, Machine Selection*

## 1. Giriş

Günümüz koşullarında rekabet eden üretim işletmelerin öncelikli amacı kaynaklarını etkin kullanarak mal/hizmet üretmek ve sürdürülebilirliği sağlamaktır. Bu açıdan üretim işletmeleri için rekabet avantajı ve etkin kaynak kullanımı sağlayabilecek en kritik noktalardan birisi de makine seçimi konusudur. Uygun makinenin seçilmesi, üretim kalitesi, verimlilik, maliyet ve karlılık gibi konuları doğrudan etkilemesi sebebiyle oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca bu konuda yönetsel bir karar verme sürecine ihtiyaç duyulmakta olup kritik bir yatırım problemi olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Makine ve teçhizat seçimi, üretim sisteminin performansına etki eden bir karar olmasının yanında uzmanlık gerektiren, zor ve zaman alıcı bir süreçtir (Arslan vd., 2004:101). Bu süreçte karar verici uygun bir değerlendirme yapabilmek için birçok kriteri bir arada değerlendirmeye ve analiz etmeye ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla üretim sürecinde uygun makinenin kullanılması üretim performansının gelişmesini, kaynaklardan etkin yararlanılmasını, verimliliğin artmasını, sistemin esnekliği, yenilenebilirliği ve güvenilirliğinin yükselmesini sağlayabilmektedir (Önüt vd., 2008: 443). Makine seçim süreci, nitel ve nicel birçok ölçütün ve alternatifin birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir yapıda olduğu için çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınabilmektedir.

Bu tür sorunların çözümünde etkin bir karar verme aracı olarak ÇKKV tekniklerinin kullanımı ön plana çıkmaktadır. İlgili literatür incelendiğinde problemin makine seçimi veya teçhizat seçimi olmak üzere iki şekilde ele alındığı görülmektedir. Uygulamalarda çeşitli matematiksel modeller veya ÇKKV teknikleri kullanılarak çözüm yapılmaktadır. Makine seçiminde en çok kullanılan ÇKKV tekniği ise Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) olarak göze çarpmaktadır. AHS kullanan çalışmalar arasında Tabucanon vd. (1994), Lin ve Yang (1996), Yurdakul (2004), Chang vd. (2007), Çimren vd. (2007) bulunmaktadır. Aynı zamanda AHS'nin diğer ÇKKV teknikleri ile bütünleştirildiği çalışmalara rastlanmaktadır. Ayağ (2007), makine seçim probleminde AHS'nin yanında simülasyon tekniğini, Dağdeviren (2008) AHS ve PROMETHEE yöntemini, Karim ve Karmaker (2016), AHS ile TOPSIS yöntemini kullanarak çözüm sunmuşlardır. Bu çalışmaların yanı sıra diğer matematiksel ya da sezgisel modelleri uygulayan çalışmalardan Atmani ve Lashkari (1998) doğrusal programlama ile tam sayılı programlamayı, Keung vd. (2001) genetik algoritmayı, Sun vd. (2002) veri zarflama analizini, Arslan vd. (2004) çok kriterli ağırlıklı ortalamayı, Agdaie vd. (2013) SWARA ve COPRAS-G metodunu kullanmışlardır.

Bahsedilen bu yöntemler karar vericilerin kesin yargılarına dayalı olarak uygulanmıştır. Ayrıca literatürde karar vericilerin gerçek hayata uygun olarak göreceli şekilde değerlendirme yaptığı çalışmalar da oldukça yaygındır. Bu durumda dilsel değerlendirmelerin sayısallaştırılmasına imkan tanıyan Bulanık ÇKKV yöntemlerinden faydalanılmıştır. Makine seçiminde Bulanık AHS (BAHS), kullanan çalışmalar arasında Ayağ ve Özdemir (2006), Ertuğrul (2007), Duran ve Agulio (2008) bulunmaktadır. Bunların yanında Kaya vd. (2007) ile Yurdakul ve İç (2009) Bulanık TOPSIS (BTOPSIS), Önüt vd. (2008) ile Perçin (2012) BAHS-BTOPSIS, Tuzkaya vd. (2010) Bulanık Analitik Ağ Süreci (BAAS)-Bulanık PROMETHEE, Ayağ ve Özdemir (2011) BAAS, Özgen vd. (2011) BAHS-Bulanık PROMETHEE, Samvedi vd. (2012) BAHS-Gri İlişkisel Analiz, Organ (2013) Bulanık DEMATEL, Vatansver ve Kazançoğlu (2014) BAHS-Bulanık MOORA, Çakır (2015) Bulanık SMART-Aksiyomatik Tasarım tekniklerini uygulamışlardır. Ayrıca esnek imalat hücreleri için makine teçhizat seçiminde Wang vd. (2000) bulanık çok ölçütlü karar verme modeli önermiş, Rai vd. (2002) bütünleşmiş olarak bulanık hedef programlama ile genetik algoritma, Mishra vd. (2006) bulanık hedef programlama, Taha ve Rostam (2012) ise BAHS-PROMETHEE yöntemlerini kullanmışlardır.

Literatür incelendiğinde genellikle AHS tekniği kullanılarak kriter ağırlıklandırması yapıldığı, makine alternatiflerinin ise çoğunlukla TOPSIS ya da PROMETHEE ile sıralandığı gözlenmektedir. Bu çalışmada ise makine seçiminde farklı bir yaklaşım olarak bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR yönteminin uygulanması amaçlanmıştır. DEMATEL yöntemi, kriterler arasındaki karşılıklı tüm etkileşimleri dikkate alarak önem düzeylerinin belirlenebilmesini sağlaması ile ön plana çıkmaktadır. VIKOR yöntemi ise karar alternatifleri arasından en uygun olanının seçilmesine yönelik bir uzlaşmaya varılan sonucu ortaya koymaktadır. Böylece bu iki yöntemin entegre edilmesi karar vericiler için etkin bir çözüm aracı olabilmektedir. Bu amaçla çalışmada karar verici grubu ile yapılan değerlendirmeler ışığında önerilen bulanık ÇKKV yaklaşımı ile mermer kesim makinesi alternatifleri arasından en uygun seçimin yapılması sağlanmıştır. Aynı zamanda önerilen yaklaşım ile ilgili literatüre daha önce uygulanmamış bir bütünleşik ÇKKV modelinin sunulması hedeflenmiştir.

Çalışmanın giriş bölümünü takiben ikinci bölümünde Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR yöntemleri açıklanacak, üçüncü bölümde uygulamaya yer verilerek makine seçimi kriterlerine ilişkin bilgiler ve uygulama aşamaları aktarılacaktır. Son olarak sonuç kısmı ile değerlendirmeler yapılacaktır.

## 2. Araştırmanın Yöntemi

Bu bölümde makine seçim kriterlerinin ağırlıklandırılması için kullanılan Bulanık DEMATEL ve alternatiflerin sıralanması amacıyla kullanılan Bulanık VIKOR yöntemleri kısaca açıklanmıştır.

### 2.1. Bulanık DEMATEL Yöntemi

DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi 1972 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü tarafından geliştirilmiş olan çok kriterli karar verme yaklaşımıdır (Wu vd., 2010: 5220). Yöntem; karmaşık problem kümelerindeki elemanların birbirleri arasındaki karşılıklı ilişkileri belirlemek ve bu ilişkilere bağlı olarak birbirleri üzerindeki etkiyi ağırlıklandırmak için yapısal bir model geliştirmektedir (Tzeng vd., 2007; Wu ve Tsai, 2011). Bulanık DEMATEL yöntemi ise klasik DEMATEL yaklaşımını Bulanık Küme Teorisi (Zadeh, 1965) ile bütünleştirerek bulanık sayılara dayalı olarak çözüm yapmaktadır. Böylece kesin değerler yerine kesin olmayan göreceli kavramlar ile kriterler arasındaki ilişkiler belirlenebilmektedir.

Bulanık DEMATEL için uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenmektedir (Lin ve Wu, 2008: 208-209; Dalalah vd., 2011: 8385-86; Jassbi vd., 2011: 5970; Büyüközkan ve Çifçi, 2012: 3005; Baykaşoğlu vd., 2013: 901-902, Altan ve Karaş-Aydın, 2015: 104).

**1. Adım. Kriterlerin belirlenmesi ve bulanık değerlendirme ölçeğinin oluşturulması:** Bu adımda öncelikle probleme ilişkin değerlendirme kriterleri belirlenir. Karar vericilerin kriterlerin birbirleri üzerindeki ilişkileri karşılaştırabilmeleri için bir ölçek oluşturulur. Bu ilişkilerin derecelendirilmesi ile ilgili zorluğu ortadan kaldırmak amacıyla grup kararlarında Li (1999) tarafından önerilen dilsel değişkenlerden oluşan bulanık değerlendirme ölçeği Tablo 1'deki gibidir.

Tablo1. Bulanık Değerlendirme Ölçeği

<i>Dilsel Değişkenler</i>	<i>Bulanık Karşılıklar</i>
Etkisiz	(0; 0; 0,25)
Çok Düşük Etki	(0; 0,25; 0,5)
Düşük Etki	(0,25; 0,5; 0,75)
Yüksek Etki	(0,5; 0,75; 1)
Çok Yüksek Etki	(0,75; 1; 1)

**2. Adım. Bulanık direkt ilişki matrisinin elde edilmesi:**  $C = \{C_i | i=1,2,...,n\}$  kriterleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için  $p$  adet uzmandan oluşan karar verici grubu, dilsel terimleri kullanarak ikili karşılaştırmalar yaparlar. Her biri bir uzmana karşılık gelen  $p$  adet  $\tilde{Z}^1, \tilde{Z}^2, \dots, \tilde{Z}^p$  bulanık matris elde edilir. Buna göre elemanları  $i$ . kriterin  $j$ . kriteri etkileme düzeyini gösteren  $\tilde{z}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$  üçgensel bulanık sayılarından oluşan  $k$  uzmanına ait direkt ilişki matrisi aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{Z}^k = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \tilde{z}_{1n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{n1}^k & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad k = 1, 2, \dots, p; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

**3. Adım.** Normalize bulanık direkt ilişki matrisinin oluşturulması:  $\tilde{X}^k = [\tilde{x}_{ij}^k]_{n \times n}$  şeklinde gösterilen normalize bulanık direkt ilişki matrisi aşağıdaki işlemler uygulanarak elde edilir.

$$\tilde{X}^k = \tilde{Z}^k / r^k; \quad r^k = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n u_{ij}^k \quad (2)$$

Bu aşamada tüm karar vericiler için oluşturulan normalize bulanık direkt ilişki matrisleri  $\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^p$  için ortalama matris aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\tilde{X} = \frac{\tilde{X}^1 + \tilde{X}^2 + \dots + \tilde{X}^p}{p}; \quad \tilde{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p \tilde{x}_{ij}^k}{p} \quad (3)$$

**4. Adım.** Toplam bulanık direkt ilişki matrisinin oluşturulması:  $\tilde{T}$  ile gösterilen toplam bulanık direkt ilişki matrisi,  $I$  birim matrisi göstermek üzere aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\tilde{T} = \lim_{k \rightarrow \infty} (\tilde{X}^1 + \tilde{X}^2 + \dots + \tilde{X}^k) = \tilde{X}(I - \tilde{X})^{-1} \quad (4)$$

Burada  $\tilde{t}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$  olup,  $\tilde{T}$  matrisi aşağıdaki formülizasyon ile elde edilebilir.

$$\text{Matris}[l'_{ij}] = X_l(I - X_l)^{-1}, \quad \text{Matris}[m'_{ij}] = X_m(I - X_m)^{-1}, \quad \text{Matris}[u'_{ij}] = X_u(I - X_u)^{-1} \quad (5)$$

**5. Adım.** Neden sonuç ilişkilerinin belirlenmesi:  $\tilde{T}$  matrisi elde edildikten sonra, satır elemanları toplamı  $\tilde{D}_i$ , sütun elemanları toplamı  $\tilde{R}_i$  olmak üzere  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerleri hesaplanır. İlişkilerin oluşturulması için öncelikle aşağıdaki durulaştırma işlemi gerçekleştirilir.

$$\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def} = \frac{1}{4}(x_{ij,l} + 2x_{ij,m} + x_{ij,u}), \quad \tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def} = \frac{1}{4}(x_{ij,l} + 2x_{ij,m} + x_{ij,u}) \quad (6)$$

$\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$  değeri, bir kriterin diğer kriterler arasındaki önemini ve toplam etkisini gösterirken,  $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  değeri ise, kriterlerin gönderici ya da alıcı olarak iki gruba ayrılmasını sağlar. Değerin pozitif olması ilgili kriterin gönderici grupta yer aldığı ve diğer kriterler üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğu anlaşılır. Negatif olması ise ilgili kriterin alıcı grupta yer aldığı ve diğer kriterler üzerindeki etkisinin daha az olduğu anlaşılır. Buna göre yatay ekseninde  $\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$ , dikey ekseninde  $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  değerleri bulunan neden sonuç diyagramı elde edilebilir.

**6. Adım.** Ağırlıkların hesaplanması: Kriter ağırlıkları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$w_i = \left\{ (\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def})^2 + (\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def})^2 \right\}^{1/2}, \quad W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

## 2.2. Bulanık VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi ilk olarak Opricovic (1998) tarafından ortaya konulmuş olup karmaşık modellerin çözülmesinde uzlaşık bir sıralama metodu kullanarak uzlaşık çözüme ulaşmayı sağlayan çok kriterli optimizasyon yaklaşımıdır (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447). Uzlaşık çözümün temelleri Yu (1973) tarafından atılmış ve Zeleny (1982) tarafından yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. Uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın uygun çözümü yani ortak bir karar üzerinde varılan anlaşmayı ifade etmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2007: 515). Bulanık VIKOR yöntemi ise bulanık mantığın klasik VIKOR yöntemine uyarlanmasıyla bulanık sayılar ile değerlendirme yapılmasını sağlamaktadır. Bulanık VIKOR yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Chen ve Wang, 2009: 235-37; Moenzadeh ve Hajfathaliha, 2009: 1639; Kaya ve Kahraman, 2010: 2521-22; Opricovic, 2011: 12984; Akyüz, 2013: 203-205).

**1. Adım.** Karar vericiler, alternatifler ve kriterlerin belirlenmesi:  $n$  adet karar vericinin,  $m$  adet alternatifin ve  $k$  adet değerlendirme kriterinin olduğu varsayılır.

**2. Adım.** Dilsel değişkenlerin ve onlara karşılık gelen bulanık sayıların tanımlanması: Alternatiflerin ve kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi için Tablo 2'de gösterilen dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelen üçgensel bulanık sayılardan  $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3)$  faydalanılır (Chen ve Wang, 2009).

Tablo 2: Alternatiflerin Değerlendirilmesi için Dilsel Değişkenler

Dilsel Değişkenler	Bulanık Karşılıklar
Çok Kötü	(0; 0; 2,5)
Kötü	(0; 2,5; 5)
Orta	(2,5; 5; 7,5)
İyi	(5; 7,5; 10)
Çok İyi	(7,5; 10; 10)

**3. Adım.** Karar vericilerin görüşlerinin birleştirilmesi: Elde edilen bulanık değerlendirmeler toplanarak  $n$  karar verici sayısına bölünüp, kriterler ve alternatifler için önem ağırlıkları elde edilir.

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{n} [\sum_{e=1}^n \tilde{w}_j^e] \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad \tilde{x}_{ij} = \frac{1}{n} [\sum_{e=1}^n \tilde{x}_{ij}^e] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

**4. Adım.** Bulanık karar matrisinin oluşturulması:  $\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_k)$  kriter ağırlıklarını,  $\tilde{x}_{ij}$  ise  $A_i$  alternatifinin  $C_j$  kriteri karşısında aldığı değeri temsil etmek üzere karar matrisi oluşturulur.

**5. Adım.** En iyi ve en kötü bulanık değerlerin belirlenmesi:

$$\tilde{f}_j^* = \max_i \tilde{x}_{ij}, \quad \tilde{f}_j^- = \min_i \tilde{x}_{ij} \quad (9)$$

**6. Adım.**  $\tilde{S}_i$  ve  $\tilde{R}_i$  değerlerinin hesaplanması:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^k \tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-) \quad \tilde{R}_i = \max_j [\tilde{w}_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{x}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)] \quad (10)$$

**7. Adım.**  $\tilde{S}^*, \tilde{S}^-, \tilde{R}^*, \tilde{R}^-$  ve  $\tilde{Q}_i$  değerlerinin hesaplanması:

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i, \quad \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i, \quad \tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i, \quad \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (11)$$

$$\tilde{Q}_i = v(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*) / (\tilde{S}^- - \tilde{S}^*) + (1 - v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \quad (12)$$

Burada  $\tilde{S}^*$  maksimum grup faydasını,  $\tilde{R}^*$  karşı görüştekilerin minimum pişmanlığını belirtmektedir.  $\tilde{Q}_i$  indeksi her ikisinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilir.  $v$  değeri, maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığını,  $1-v$  ise bireysel pişmanlığın ağırlığını ifade eder. Uzlaşma durumunda  $v=0,5$  alınır.

**8. Adım.**  $\tilde{Q}_i$  indeksinin durulaştırılması: Bulanık sayı olan  $\tilde{Q}_i$  durulaştırılarak  $Q_i$  indeksi elde edilir ve buna göre alternatifler sıralanır. Çalışmada Yong (2006) tarafından önerilen GMI (graded mean integration) durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

$$P(\tilde{A}) = A = (a_1 + 4a_2 + a_3)/6 \quad (13)$$

**9. Adım.** Uzlaşık çözümün belirlenmesi: Aşağıdaki iki koşulun sağlanması durumunda  $Q_i$  indeksi kullanılarak en küçük değere sahip olan alternatif ( $A^1$ ) uzlaşık çözüm olarak seçilir.

Koşul 1: (K1) Kabul edilebilir avantaj

$$Q(A^2) - Q(A^1) \geq 1/(m-1) \quad (14)$$

Burada  $A^2$  değeri, sıralamada en iyi ikinci sırayı alan alternatiftir.

Koşul 2: (K2) Karar vermede kabul edilebilir istikrar

$A^1$  alternatifi,  $S$  veya  $R$  değerlerine göre yapılan sıralamada da en iyi alternatif olmalıdır.

Eğer bu iki koşuldan bir tanesi sağlanamazsa uzlaşık çözüm kümesi aşağıdaki gibi önerilmektedir:

- K2 sağlanmıyorsa;  $A^1$  ve  $A^2$  alternatifleri uzlaşık kümesine alınır.

- K1 sağlanmıyorsa;  $A^1, A^2, \dots, A^M$  alternatifleri dikkate alınarak,  $Q(A^M) - Q(A^1) < 1/(m-1)$  eşitliğini sağlayan  $M$  sayıdaki alternatif uzlaşık çözüm kümesi için önerilir.

### 3. Uygulama

Uygulama doğal taş sektöründe Çorum'da faaliyet gösteren bir mermer ve madencilik firmasında gerçekleştirilmiştir. Üretim tesislerinde mermer kesim, cilalama ve ebatlama makinelerinden faydalanan işletme için PLC (Programmable Logic Controller) mermer kesim makinesinin seçimi konusundaki karar verme problemine çözüm aranmıştır. Bunun için öncelikle söz konusu makine seçimini etkileyen kriterlerin belirlenmesi sağlanmıştır.

#### 3.1. Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Belirlenmesi

Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi için öncelikle firmadaki görevleri ve deneyimleri dikkate alınarak yönetici ve mühendislerden oluşan 3 kişilik bir karar verme grubu oluşturulmuştur. Karar vericilerin bilgilerine ve literatür taramasına dayalı olarak PLC makine seçimini etkileyen kriterler ve açıklamaları aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3. Değerlendirme Kriterleri ve Açıklamaları

Değerlendirme Kriteri	Açıklama	Kaynaklar
Fiyat (C1)	Makinenin satın alma maliyeti	Lin ve Yang, 1996; Arslan vd, 2004; Yurdakul, 2004; Ertuğrul, 2007; Kaya vd, 2007; Önüt vd, 2008; Özger vd, 2011; Perçin, 2012; Organ, 2013; Çakır, 2015; Karim ve Karmaker, 2016
Güvenlik (C2)	Makinenin mekanik risklerinin önlenmesinin yanında işçi güvenliğinin sağlanması	Arslan vd, 2004; Ayağ ve Özdemir, 2006; Ayağ, 2007; Çimren vd, 2007; Kaya vd, 2007; Önüt vd, 2008; Özgen vd, 2011; Perçin, 2012; Çakır, 2015; Karim ve Karmaker, 2016
Kullanım Kolaylığı (C3)	Çalışanların makineyi kolay kullanabilmeleri için gereken özelliklere ve yazılıma sahip olması, bu konuda gerekli bilgiye ulaşabilmesi ve süreci kontrol edebilmesi	Ertuğrul, 2007; Kaya vd, 2007; Önüt vd, 2008; Özgen vd, 2011; Perçin, 2012; Çakır, 2015
Verimlilik (C4)	Üretimin hızlı ve hatasız yapılmasıyla performansta süreklilik sağlanması	Arslan vd, 2004; Ayağ ve Özdemir, 2006; Ayağ, 2007; Çimren vd, 2007; Ertuğrul, 2007; Önüt vd, 2008; Özgen vd, 2011; Perçin, 2012; Karim ve Karmaker, 2016
Kapasite (C5)	Birim zamanda üretilen ürün miktarı	Ertuğrul, 2007; Özgen vd, 2011; Çakır, 2015
Kalite (C6)	Makinenin çevresel etkilere karşı sağlam ve kaliteli olmasının yanında uzun ömürlü olması	Yurdakul, 2004; Ertuğrul, 2007; Özgen vd, 2011; Organ, 2013; Karim ve Karmaker, 2016
Kurulum Süresi (C7)	Makinenin kurulumunun pratik olup fazla süre gerektirmemesi	Lin ve Yang, 1996; Yurdakul, 2004; Önüt vd, 2008; Özgen vd, 2011
Servis ve Bakım (C8)	Servis desteği sağlanması, yedek parça temini ve makinenin arızalara karşı bakımının kolaylığı	Arslan vd, 2004; Ayağ ve Özdemir, 2006; Ayağ, 2007; Ertuğrul, 2007; Kaya vd, 2007; Önüt vd, 2008;

		Özgen vd, 2011; Perçin, 2012; Çakır, 2015; Karim ve Karmaker, 2016
Güvenilirlik (C9)	Makinenin hassasiyetinin güvenilir ve ürünü işleme sürecinin kaliteli olması	Arslan vd, 2004; Ayağ ve Özdemir, 2006; Ayağ, 2007; Kaya vd, 2007; Özgen vd, 2011; Çakır, 2015; Karim ve Karmaker, 2016

### 3.2. Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Uygulanması

**1. Aşama:** Öncelikle karar vericilerden anket yoluyla veriler toplanarak, değerlendirme kriterleri ve makine alternatifleri arasındaki karşılaştırmalar yapılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilen bulanık değerlendirme ölçeklerine göre karar matrisleri hazırlanmıştır.

**2. Aşama:** Bulanık DEMATEL yöntemine ilişkin adımlar (1-3) uygulanarak Tablo 4’teki normalize bulanık direkt ilişki matrisi elde edilmiştir. Daha sonra (4-7) eşitlikleri yardımıyla Tablo 5’te gösterilen  $\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$ ,  $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  değerleri ve kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tablo 4. Normalize Bulanık Direkt İlişki Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	0,00 0,00 0,00	0,16 0,14 0,13	0,16 0,15 0,13	0,22 0,18 0,16	0,22 0,18 0,16	0,10 0,11 0,12	0,03 0,06 0,08	0,07 0,09 0,11	0,07 0,09 0,11
C2	0,03 0,07 0,09	0,00 0,00 0,00	0,03 0,07 0,09	0,13 0,13 0,13	0,03 0,06 0,08	0,00 0,05 0,08	0,03 0,06 0,08	0,07 0,07 0,09	0,07 0,09 0,11
C3	0,03 0,07 0,09	0,03 0,07 0,09	0,00 0,00 0,00	0,07 0,09 0,11	0,03 0,07 0,09	0,03 0,07 0,09	0,00 0,04 0,07	0,03 0,07 0,09	0,00 0,04 0,07
C4	0,16 0,15 0,15	0,19 0,16 0,15	0,16 0,15 0,15	0,00 0,00 0,00	0,23 0,18 0,16	0,16 0,15 0,13	0,13 0,13 0,13	0,19 0,16 0,16	0,26 0,20 0,16
C5	0,16 0,15 0,15	0,16 0,15 0,15	0,19 0,16 0,16	0,20 0,16 0,15	0,00 0,00 0,00	0,10 0,11 0,12	0,19 0,16 0,15	0,13 0,13 0,13	0,16 0,15 0,15
C6	0,13 0,13 0,13	0,16 0,15 0,15	0,19 0,16 0,16	0,16 0,15 0,13	0,16 0,15 0,15	0,00 0,00 0,00	0,10 0,11 0,12	0,13 0,13 0,13	0,13 0,13 0,13
C7	0,00 0,05 0,08	0,00 0,05 0,08	0,00 0,02 0,05	0,00 0,00 0,04	0,00 0,04 0,07	0,00 0,04 0,07	0,00 0,00 0,00	0,07 0,09 0,11	0,00 0,05 0,08
C8	0,03 0,06 0,07	0,03 0,07 0,09	0,03 0,07 0,09	0,07 0,06 0,08	0,00 0,02 0,05	0,00 0,04 0,07	0,03 0,04 0,07	0,00 0,00 0,00	0,03 0,06 0,08
C9	0,00 0,05 0,08	0,06 0,09 0,11	0,03 0,07 0,09	0,06 0,09 0,11	0,00 0,04 0,07	0,07 0,09 0,11	0,00 0,04 0,07	0,03 0,05 0,08	0,00 0,00 0,00

Tablo 5.  $\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$ ,  $\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  Değerleri ve Kriter Ağırlıkları ( $w_i$ )

	$\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$			$\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$			$\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def}$	$\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def}$	$w_i$	$W_i$
C1	5,41	7,73	13,58	1,89	1,38	1,29	8,61	1,49	8,74	0,126
C2	3,84	6,57	12,53	-1,14	-1,08	-1,18	7,38	-1,12	7,46	0,107
C3	3,41	6,19	12,14	-1,54	-1,19	-1,40	6,98	-1,33	7,11	0,102
C4	7,05	8,97	15,00	1,54	1,54	1,75	9,99	1,59	10,12	0,145
C5	5,84	7,99	14,15	1,62	1,64	2,04	8,99	1,74	9,16	0,132
C6	5,09	7,56	13,71	2,07	1,74	2,09	8,48	1,91	8,69	0,125
C7	1,77	4,14	9,80	-1,53	-1,28	-1,37	4,96	-1,37	5,14	0,074
C8	3,01	5,24	11,05	-1,51	-1,69	-2,12	6,13	-1,75	6,38	0,092
C9	3,23	5,92	11,74	-1,41	-1,06	-1,09	6,70	-1,16	6,80	0,098

Buna göre C2, C3, C7, C8 ve C9 kriterleri alıcı grupta yer alırken C1, C4, C5 ve C6 kriterleri gönderici grupta yer alarak diğerleri üzerindeki etkisinin daha çok olduğu tespit edilmiştir. C4 (verimlilik) kriterinin en yüksek etki düzeyi ve önem derecesine sahip olduğu görülmüştür. En düşük öneme sahip kriter ise C7 (kurulum süresi) olmuştur.

**3. Aşama:** Elde edilen ağırlıklar yardımıyla 3 alternatif arasından en uygun makinenin seçilmesi için Bulanık VIKOR yöntemine ilişkin adımlar uygulanmıştır. Karar vericilerin verdiği cevaplar doğrultusunda öncelikle eşitlik (8) kullanılarak Tablo 6’daki bulanık karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 6. Alternatifler için Bulanık Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A1	4,17 6,67 9,17	2,50 5,00 7,50	5,00 7,50 10,00	4,17 6,67 9,17	3,33 5,83 8,33	4,17 6,67 9,17	4,17 6,67 9,17	5,00 7,50 10,00	4,17 6,67 9,17
A2	5,00 7,50 10,00	2,50 5,00 7,50	5,83 8,33 10,00	4,17 6,67 9,17	4,17 6,67 9,17	3,33 5,83 8,33	3,33 5,83 8,33	4,17 6,67 9,17	5,00 7,50 10,00
A3	0,00 0,83 2,58	4,17 6,67 9,17	3,33 5,83 8,33	7,50 10,00 10,00	6,67 9,17 10,00	7,50 10,00 10,00	0,83 3,33 5,83	0,00 2,50 5,00	6,67 9,17 10,00

**4. Aşama:** Son aşamada alternatiflerin sıralanabilmesi için eşitlikler (9-14) yardımıyla  $Q_i$  indeksi elde edilerek en uygun alternatif için uzlaşık çözüm belirlenmiştir. Tablo 7’de gösterildiği gibi A3 alternatifi her iki koşulu da sağlayarak en iyi değeri elde etmiştir. Sıralama  $A3 > A2 > A1$  şeklinde olmuştur.

Tablo 7.  $S_i$ ,  $R_i$ ,  $Q_i$  indeksleri ve Alternatiflerin Sıralanması

	$\tilde{S}_i$			$\tilde{R}_i$			$\tilde{Q}_i$			$S_i$	$R_i$	$Q_i$	Sıra
A1	0,794	0,800	0,730	0,145	0,145	0,145	1,000	1,000	1,000	0,787	0,145	1,00	3
A2	0,738	0,738	0,640	0,145	0,145	0,145	0,953	0,949	0,916	0,721	0,145	0,944	2
A3	0,194	0,194	0,194	0,102	0,102	0,102	0,000	0,000	0,000	0,194	0,102	0,00	1

#### 4. Sonuç ve Öneriler

İşletmelerde üretim planlamasının etkin şekilde yürütülebilmesi için uygun makinenin seçimi sistematik bir karar sürecine dayalı olarak yapılmalıdır. Bu çalışmada makine seçimi problemi için iki aşamalı bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR yaklaşımı sunulmuştur. Gerçek yaşam uygulamalarının genelinde karar vericilerin tercihleri belirsizlik içermekte ve görüşleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu bakımdan çalışmada sunulan bulanık ÇKKV yaklaşımı bu tür eksikliklerin giderilmesine imkan tanımaktadır. Bulanık DEMATEL yöntemi ile tüm etkileşimleri dikkate alacak şekilde kriterin önem ağırlıklarının belirlenmesi sağlanırken, Bulanık VIKOR ile de, grup faydasını maksimum yapan çözüme ulaşılmaktadır. Çalışmada belirlenen 9 değerlendirme kriterine göre 3 alternatif arasından en uygun olanı seçilmiştir. Buna göre karar vericilerin en yüksek önemi verdiği kriter verimlilik olup, onu kapasite, fiyat ve kalite kriterleri izlemiştir. Önem derecesi yüksek olan kriterler göz önünde bulundurulduğunda üretim planlamasını doğrudan etkileyen faktörler arasında oldukları söylenebilir. Uygulamada son aşamada ise  $Q_i$  indeksine göre yapılan sıralama dikkate alınarak A3 alternatifi uzlaşık çözüm olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın önerilen yöntem ve yapılan uygulama açısından literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Literatüre makine seçimi konusunda daha önce kullanılmamış bir yaklaşım sunulmuştur. Sunulan bulanık ÇKKV yaklaşımı, hem karar vermedeki belirsizlikleri dikkate alabilen hem de çok sayıda kriter ve alternatifi birlikte değerlendirebilen yapısıyla etkin bir karar verme aracıdır. Aynı zamanda uygulama yapılan işletme için uygun makinenin seçilmesi konusunda yol gösterici ve kullanışlı bir çözüm ortaya konulmuştur. Firma özelinde sonuç değerlendirildiğinde, seçilen alternatifi firmanın üretim süreci ve yöneticilerin kriter değerlendirmelerine göre en yüksek faydayı sağlayacak makine olduğu kanısına varılmış ve yatırım yapılmasına karar verilmiştir. Ayrıca yönetsel açıdan kullanılan yaklaşımın gerçek bir işletme problemine uygulanabilir olması karar sürecinde zaman kazandırmıştır ve kolaylık sağlamıştır. Diğer yönetsel kararlara da kullanılabilir bir çözüm yolu elde edilmiştir. Dolayısıyla sektördeki diğer uygulayıcı ve kullanıcılar için de firma yapısına uygun değişiklikler yaparak değerlendirebilecekleri esnek bir yaklaşım sunulmuştur.

İleriki çalışmalarda problemin yapısına göre daha fazla kriter veya alternatif ile çözüm geliştirilebilir. Önerilen yöntem tedarikçi seçimi, proje seçimi, kuruluş yeri seçimi gibi farklı karar verme problemlerine uyarlanabilir. Aynı zamanda diğer ÇKKV tekniklerinin ya da sezgisel yöntemlerin modele dahil edilmesi sağlanabilir. ELECTRE, ORESTE, Bulanık Regresyon, Genetik Algoritma gibi diğer tekniklerin kullanılması literatüre katkıda bulunacaktır.

**KAYNAKÇA**

- Agdaie, M.H., Zolfani, S.H. ve Zavadskas, E.K. 2013. Decision Making in Machine Tool Selection: An Integrated Approach With SWARA and COPRAS-G Methods. *Engineering Economics*, 24(1): 5-17.
- Arslan, M.Ç., Çatay, B. ve Budak, E. 2004. A Decision Support System For Machine Tool Selection. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 15(1): 101-109.
- Atmani, A. ve Lashkari, R. S. 1998. A model of Machine-tool Selection and Operation Allocation in FMS. *International Journal of Production Research*, 36(5): 1339-1349.
- Ayağ, Z. 2007. A Hybrid Approach to Machine Tool Selection Through AHP and Simulation. *International Journal of Production Research*, 45(9): 2029-2050.
- Ayağ, Z. ve Özdemir, R.G. 2006. A fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17: 179-190.
- Ayağ, Z., ve Özdemir, R. G. 2011. An Intelligent Approach to Machine tool Selection through Fuzzy Analytic Network Process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(2): 136-177.
- Baykasoğlu, A., Kaplanoğlu, V., Durmuşoğlu, Z. ve Şahin, C. 2013. Integrating Fuzzy DEMATEL and Fuzzy Hierarchical TOPSIS Methods For Truck Selection. *Expert Systems With Applications*, 40: 899-907
- Büyüközkan, G., Çifçi G. 2012. A Novel Hybrid MCDM Approach Based On Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS to Evaluate Green Supplier. *Expert Systems With Applications*, 39(3): 3000-3011.
- Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, C.T. ve Chen H.C. 2007. An Application of AHP and Sensitivity Analysis for Selecting The Best Slicing Machine. *Computers & Industrial Engineering*, 52: 296-307.
- Chen, L. Y. ve Wang, T. C. 2009. Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR. *International Journal of Production Economics*, 120: 233-242.
- Çakır, S. 2015. An Integrated Approach to Machine Selection Problem Using Fuzzy SMART-Fuzzy Weighted Axiomatic Design. *Journal of Intelligent Manufacturing*, DOI 10.1007/s10845-015-1189-3
- Çimren, E., Çatay, B. ve Budak, E. 2007. Development of a Machine Tool Selection System Using AHP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35: 363-376.
- Dağdeviren, M. 2008. Decision Making in Equipment Selection: An Integrated Approach with AHP and PROMETHEE. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19: 397-406.
- Dalalah, D., Hayajneh, M. ve Batieha, F. 2011. A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Model for Supplier Selection. *Expert Systems with Applications*, 38: 8834-8391.
- Duran, O. ve Aguilo, J. 2008. Computer-aided Machine-Tool Selection Based on a Fuzzy-AHP Approach, *Expert Systems with Applications*. 34: 1787-1794.
- Ertuğrul, İ. 2007. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bir Tekstil İşletmesinde Makine Seçim Problemine Uygulanması, *H.Ü. İİBF Dergisi*, 25(1), 171-192.
- Jassbi, J., Mohamadnejad, F. ve Nasrollahzadeh, H. 2011. A Fuzzy DEMATEL Framework For Modeling Cause and Effect Relationships of Strategy Map. *Expert Systems with Applications*, 38: 5967-5973.
- Karim, R. ve Karmaker C.L. 2016. Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods. *American Journal of Industrial Engineering*, 4(1): 7-13.
- Kaya, İ., Kılınç, M.S. ve Çevikcan, E. 2007. Makine-Teçhizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci. *Mühendis ve Makina*, 49(576): 8-14.
- Kaya, T. ve Kahraman, C. 2010. Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of İstanbul", *Energy*, 35(6): 2517-2527.
- Keung, K. W., Ip, W. H. ve Lee, T. C. 2001. A Genetic Algorithm Approach to the Multiple Machine tool Selection Problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12(4), 331-342.
- Li, R.J. 1999. Fuzzy Method in Group Decision Making. *Computers and Mathematics with Applications*, 38(1): 91-101.
- Lin, C.J. ve Wu, W.W. 2008. A Causal Analytical Method For Group Decision-Making Under Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 34(1): 205-213.
- Lin, Z.C. ve Yang, C.B. 1996. Evaluation of machine selection by the AHP method. *Journal of Materials Processing Technology*, 57: 253-258.
- Moeinzadeh, P. ve Hajfathaliha, A. 2009. A Combined Fuzzy Decision Making Approach to Supply Chain Risk Assessment. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, (60): 519-535.
- Mishra, S.P., Tiwari, M.K.. ve Lashkari, R. S. 2006. A Fuzzy Goal-Programming Model of Machine Tool Selection and Operation Allocation Problem in FMS: A Quick Converging Simulated Annealing-Based Approach. *International Journal of Production Research*, 44(1): 43-76.
- Opricovic, S. 2011. Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning. *Expert Systems with Applications*, 38: 12983-12990.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156: 445-455.
- Opricovic, S. ve Tzeng, G.H. 2007. Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 178: 514-529.
- Organ, A. 2013. Bulanık Dematel Yöntemiyle Makine Seçimini Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22 (1): 157-172.

- Önüt, S., Kara, S.S. ve Efendigil, T. 2008. A hybrid fuzzy MCDM approach to machine tool selection. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19: 443-453.
- Özgen, A., Tuzkaya, G., Tuzkaya, U. R. ve Özgen, D. 2011. A Multi-Criteria Decision Making Approach for Machine Tool Selection Problem in a Fuzzy Environment. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 4(4): 431-445.
- Perçin S. 2012. Bulanık AHS ve TOPSIS Yaklaşımının Makine-Teçhizat Seçimine Uygulanması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21: 169-184.
- Rai, R., Kameshwaran, S. ve Tiwari, M. K. 2002. Machine-tool Selection and Operation Allocation in FMS: Solving a Fuzzy Goal-Programming Model Using a Genetic Algorithm. *International Journal of Production Research*, 40(3): 641-665.
- Samvedi, A., Jain, V. ve Chan, F. T. S. 2012. An Integrated Approach for Machine Tool Selection Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Grey Relational Analysis. *International Journal of Production Research*, 50(12): 3211-3221.
- Sun, S. 2002. Assessing Computer Numerical Control Machines Using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Production Research*, 40(9): 2011-2039.
- Tabucanon, M. T., Batanov, D. N. ve Verma, D. K. 1994. Intelligent Decision Support System (DSS) for the Selection Process of Alternative Machines for Flexible Manufacturing Systems (FMS). *Computers in Industry*, 25: 131-143.
- Taha, Z. ve Rostam, S. 2011. A hybrid fuzzy AHP-PROMETHEE Decision Support System for Machine Tool Selection in Flexible Manufacturing Cell. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23: 2137-2149.
- Tuzkaya, G., Gülsün, B., Kahraman, C. ve Özgen, D. 2010. An integrated Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methodology for Material Handling Equipment Selection Problem and an Application. *Expert Systems with Applications*, 37: 2853-2863.
- Tzeng, G. H., Chiang, C. H., ve Li, C. W. 2007. Evaluating Intertwined Effects in Elearning programs: A Novel Hybrid MCDM Model Based on Factor Analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1028-1044.
- Vatansever, K. ve Kazançoğlu, Y. 2014. Integrated Usage of Fuzzy Multi Criteria Decision Making Techniques for Machine Selection Problems and an Application. *International Journal of Business and Social Science*, 5(9), 12-24.
- Wang, T. Y., Shaw, C. F. ve Chen, Y. L. 2000. Machine Selection in Flexible Manufacturing Cell: A Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Approach. *International Journal of Production Research*, 38: 2079-2097.
- Wu, H., Chen, H. K., Shieh, J. 2010. Evaluating Performance Criteria of Employment Service Outreach Program Personnel by DEMATEL Method. *Expert System with Applications*, 37: 5219-5223.
- Wu, H. H. ve Tsai Y. N. 2011. An integrated approach of AHP and DEMATEL Methods in Evaluating the Criteria of Auto Spare Parts Industry. *International Journal of Systems Science*, 1-11.
- Yurdakul, M. 2004. AHP as a Strategic Decision-Making Tool to Justify Machine Tool Selection. *Journal of Materials Processing Technology*, 146: 365-376.
- Yurdakul, M. ve İç, Y.T. 2009. Analysis of the Benefit Generated by Using Fuzzy Numbers in a TOPSIS Model Developed for Machine Tool Selection Problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 310-317.