

## **BULANIK AHS VE TOPSIS YAKLAŞIMININ MAKİNE-TEÇHİZAT SEÇİMİNE UYGULANMASI**

Doç.Dr. Selçuk PERÇİN  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi  
İşletme Bölümü  
spercin@ktu.edu.tr

### **ÖZET**

En uygun makine-teçhizat seçimi, firmaların başarısındaki en kritik konulardan biri haline gelmiştir. Literatürde, makine-teçhizat seçimi ile ilgili birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak çok sayıda alternatif arasından en iyi ekipmanın seçimi çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemidir. Diğer yandan, mutlak (kesin) sayılar yerine bulanık sayıların kullanıldığı bulanık çok kriterli karar verme (BÇKKV) teknikleri belirsiz ve kesin olmayan bilgilerin de karar modellerine dahil edilebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmada makine-teçhizat seçimi için bütünleşmiş bir BÇKKV modeli önerilmiş ve metal sanayi firmalarına yönelik bir anket uygulanmıştır. Bu amaçla ilk olarak, literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda CNC tezgahlarının seçimini etkileyen karar kriterleri belirlenmiştir. CNC seçim kriterleri belirlendikten sonra, bulanık AHS yaklaşımı kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmış ve bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla alternatifler sıralanarak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dört CNC alternatifi değerlendirilmiş ve en uygun CNC teknolojisi seçilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Makine-teçhizat, bulanık çok kriterli karar verme, bulanık AHS, bulanık TOPSIS

### **ABSTRACT**

Selecting the most appropriate machine-equipment has emerged as the critical issue for the success of companies. In the literature, various machine-equipment selection procedures are developed. However, selecting the best equipment among many alternatives is a multi-criteria decision making (MCDM) problem. On the other hand, fuzzy MCDM models, in which fuzzy numbers are used instead of crisp values, allows incorporating vague and uncertain information into the decision model. For this reason, integrated fuzzy multi-criteria decision-making (FMCDM) methodology for machine-equipment selection has been proposed and a survey for metal industry firms is conducted. For this purpose, first of all, decision criteria for CNC machines have been determined through literature review and experts' opinions. After the selection criteria of CNC are determined, the weights of criteria have been calculated by applying the fuzzy AHP method. The Fuzzy TOPSIS method is then employed to achieve the final ranking and to make a sensitivity analysis. Four representative CNC technologies were evaluated and the most appropriate one was selected.

**Keywords:** Machine-equipment, fuzzy multi-criteria decision making, fuzzy AHP, fuzzy TOPSIS

## **1. Giriş**

İmalat firmalarına rekabet avantajı sağlayan en önemli konulardan birisi makine-teçhizat seçimidir. Makine-teçhizat seçimi, üretim sisteminin performansını doğrudan etkileyen kritik bir yatırım kararıdır. Üretim hızı, ürün kalitesi ve maliyeti bu karardan etkilenmektedir. Buna karşın üretim sisteminin ihtiyaç duyduğu yeni makinelerin seçimi oldukça zor ve zaman alıcı bir süreçtir (Arslan vd., 2004, s.101). Bu süreçte, esneklik, uyumluluk, verimlilik, kullanım kolaylığı, güvenlik, servis desteği, maliyet vb. gibi çok sayıda nitel ve nicel faktör dikkate alınmaktadır (Önüt vd., 2008, s.443).

Literatürde makine-teçhizat seçim problemlerinin matematiksel, sezgisel ya da çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri ile çözüldüğü görülmektedir. Ancak bu yöntemler içerisinde yalnızca ÇKKV teknikleri nitel ve nicel çok sayıda kriter ya da amacı dikkate alarak değerlendirme yapabilmeyi sağlamaktadır. ÇKKV teknikleri arasında yer alan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yaklaşımı, farklı türde kriterleri hiyerarşik bir yapı içerisinde bütünleştirerek her bir alternatifin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Veri zarflama analizi (VZA) yönteminde ise, karar alternatiflerinin görece etkinlikleri hesaplanmaktadır. Diğer sıralama amacıyla kullanılan Entropi, Elektre, Promethee ve TOPSIS yöntemleri ise, seçimi etkileyen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve alternatiflerin sıralanması aşamalarında kullanılmaktadır. Literatürde AHS kullanarak makine seçimi yapan araştırmacılar arasında, Lin ve Yang (1996), Yurdakul (2004), Çimren vd. (2007) ve Oeltjenbruns vd. (1995) sayılabilir. Ayrıca Sun (2002), VZA kullanarak, Georgakellos (2005) ise teknik ve ticari kriterleri dikkate alan bir sınıflandırma yöntemi yardımıyla makine-teçhizat alternatiflerini karşılaştırmıştır. Diğer çalışmalarda ise makine-teçhizat seçiminde uzman sistemlerden (Layek ve Lars, 2000; Gopalakrishnan vd., 2004) yararlanıldığı görülmektedir. Ancak tüm bu yöntemler aracılığıyla yapılan değerlendirmeler, karar vericilerin mutlak (kesin) yargılarına dayalı olarak yapılmaktadır. Gerçekte ise yapılan değerlendirmeler çoğunlukla nitel kriterlere dayalı ve subjektiftir. Bu tür durumlarda ise Zadeh (1965)'in geliştirdiği Bulanık Kümeler teorisi dikkate alınarak subjektif yargıların sayısal kriterlerle birlikte değerlendirilebilmesini sağlayan bulanık çok kriterli karar verme (BÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır.

BÇKKV yöntemleri nitel kriterlere ilişkin dilsel değerlendirmelerin sayılaşılmasını sağlayan tekniklerdir. Bu teknikleri kullanan Wang vd. (2000) esnek imalat sistemleri için bir makine teçhizat seçiminde karar vericilere yardımcı olacak bir bulanık karar modeli önermiştir. Devedzic ve Pap (1999) üçgen bulanık sayılarla değerlendirme yapmayı sağlayacak bir yöntem geliştirmiştir. Ayag ve Özdemir (2006) bulanık AHS yardımıyla makine alternatiflerini ağırlıklandırmış ve fayda/maliyet oranını kullanarak, bulanık AHS skorları ve makinelerin tedarik maliyetlerini dikkate alan bir model önermiştir. Ayrıca Ayag (2007) üretim sisteminin ihtiyaç ve beklentilerini karşılayan en uygun makine teçhizat seçiminde simülasyon ve AHS yöntemlerini bütünleştiren bir model sunmuştur. Bu çalışmalardan başka Chu ve Lin (2003) robot seçiminde ve Yurdakul ve İç (2009) makine teçhizat seçiminde bulanık TOPSIS yaklaşımını kullanmışlardır. Ayrıca literatürde makine-teçhizat seçiminde bulanık hedef

programlama yaklaşımının ileri optimizasyon teknikleri ile birlikte kullanıldığı çalışmalara da rastlanmaktadır (Mishra vd., 2006; Chan ve Swarnkar, 2006).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde makine-teçhizat seçim probleminde kullanılabilir en uygun yöntemlerin bulanık AHS ve TOPSIS olduğu görülmüştür. Bu yöntemlerin en önemli avantajı, sundukları basitlik ve tercihlerin seçim ve sıralamasındaki yeterlilikleridir (Yurdakul ve İç, 2009, s.311). Ayrıca AHS yönteminin diğer yöntemlere oranla bir takım avantajları vardır. İlk olarak AHS yönteminde, karar problemi çok sayıda kriter, alt kriter ve alternatif içeren hiyerarşik bir modele dönüştürülebilir. Karar vericilerin yargılarını yansıtan kriter ağırlıkları ikili karşılaştırmalar yardımıyla bulunabilir. Ayrıca bu yargıların geçerliliği tutarlılık oranı yardımıyla hesaplanabilir (Saaty, 1994, s.21). İdeal çözüme yakınlığa göre sıralama yapma yöntemi olarak ifade edilebilen TOPSIS yöntemi ise AHS yöntemi ile bütünleştirilerek alternatiflerin sıralanmasında kullanılabilir. Bu nedenle çalışmanın temel amacı, bütünleşmiş bir bulanık AHS ve TOPSIS yönteminin makine-teçhizat seçim problemlerinde nasıl kullanılabilirliğini açıklamaktır.

Çalışmayla birlikte, literatüre uygulamada iki önemli katkı sağlanması umulmaktadır. İlk olarak sistematik olmayan makine-teçhizat seçim süreci üretim ve değer kaybına neden olabilecektir. Bu nedenle sektörde yer alan karar vericilerin bilgi ve deneyimlerine dayalı bir yöntemin geliştirilmesi oldukça önemli görülmektedir. Ayrıca önerilen yöntem iki aşamalı (AHS ve TOPSIS) BÇKKV modelidir. Öte yandan bugüne kadar yapılan çalışmaların çok azında iki veya daha fazla yöntemi birleştiren bütünleşmiş bir model kullanılmıştır. Bu nedenle çalışma, ilgili literatürde, bütünleşmiş bir BÇKKV modelinin eksikliğini gidermeyi amaçlamaktadır.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Çalışmada öncelikle bulanık kümeler teorisi ve üçgen bulanık sayılar açıklanacaktır. Sonra önerilen yöntem, bulanık AHS ve bulanık TOPSIS yöntemleri tanıtılacaktır. Çalışmanın uygulama kısmında ise makine teçhizat seçim kriterleri literatür taraması ve metal sanayi firmalarındaki uzmanların görüşlerinden yararlanılarak belirlenecektir. Bu aşamada geliştirilen anket yardımıyla bulanık AHS kullanılarak kriterlerin önem düzeyleri belirlenecek ve daha sonra bulanık TOPSIS yaklaşımı kullanılarak metal sektöründe yer alan firmalar için en uygun makine seçimi (CNC tezgahı) gerçekleştirilecektir. Çalışmanın sonuç kısmında ise elde edilen bulgular tartışılacaktır.

## **2. Bulanık Kümeler Teorisi ve Üçgen Bulanık Sayılar**

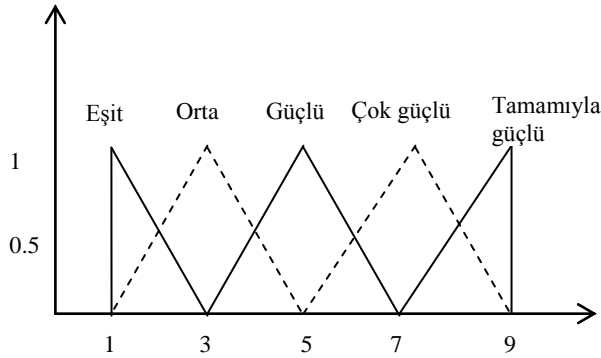
Gerçek yaşamda, birçok karar problemi belirsiz ve kesin olmayan bilgiler içerdiğinden, bu bilgilere dayalı kurulan modeller problemleri tam ve doğru olarak ifade edemez. Bu nedenle karar sürecinin, belirsiz ve kesin olmayan bilgilere dayalı model kurulabilmesini sağlaması gerekir (Saremi vd., 2009, s.2744). Örneğin klasik AHS’de anket değerlendirmesi yapanlar 1, 3, 5, 7, 9 ölçeğini kullanarak ikili karşılaştırmalar yapabilirken, “3 civarında”, “5 ile 7 arasında” gibi ifadelerin kullanılabilmesi ancak bulanık kümeler yardımıyla mümkün olmaktadır (Çebi ve Kahraman, 2007, s.85).

Bulanık kümeler teorisi Lotfi Zadeh tarafından 1965 yılında yazılan “bulanık kümeler” isimli makaleye dayanmaktadır (Zadeh, 1965). Teori, insanın düşünce ve algılarındaki belirsizliği matematiksel olarak modellemeyi amaçlamaktadır. Bir bulanık küme her bir elemanı 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip sürekli bir fonksiyon olarak  $F = \{(x, \mu_F(x)) | x \in R\}$  biçiminde gösterilmektedir. Burada  $x$  elemanı  $R: -\infty < x < \infty$  aralığındaki bir sayıyı ve  $\mu_F(x)$  ise üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir (Çebi ve Kahraman, 2007, s.82). Örneğin bir üçgen bulanık sayı (ÜBS)  $M = (l, m, u)$  için üyelik fonksiyonu,

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u, \end{cases} \quad (1)$$

biçiminde gösterilir. Bu gösterimde  $l, m, u$  parametreleri sırasıyla mümkün en küçük değeri, olması en mümkün değeri ve mümkün en büyük değeri ifade etmektedir (Büyükoçkan, 2004, s.145; Kahraman vd., 2004, s.174).

Çalışmada kriterlerin önem düzeyleri (ağırlıkları) dilsel değişkenler kullanılarak tanımlanmıştır. Dilsel değişkenler, sayısal olarak ifade edilemeyen karmaşık durumların üstesinden gelmek amacıyla kullanılırlar. Şekil 1’de görüldüğü gibi dilsel değişkenler ÜBS yardımıyla ifade edilir (Önüt vd., 2008, s.445).



**Şekil 1:** Kriterlerin önem düzeyleri için kullanılacak dilsel değişkenler  
Tablo 1, dilsel değişkenlere karşılık gelen ÜBS, üyelik fonksiyonları ve ikili karşılaştırma ölçeğini göstermektedir (Önüt vd., 2008, s.445).

**Tablo 1:** ÜBS, üyelik fonksiyonları ve ikili karşılaştırma ölçeği

Önem derecesi	Bulanık sayı	Üyelik fonksiyonu	Aralık	İkili karşılaştırma ölçeği
Tamamıyla eşit				(1, 1, 1)
Eşit	$\tilde{1}$	$u_M(x) = (3-x)/(3-1)$	$1 \leq x \leq 3$	(1, 1, 3)
Orta	$\tilde{3}$	$u_M(x) = (x-1)/(3-1)$ $u_M(x) = (5-x)/(5-3)$	$1 \leq x \leq 3$ $3 \leq x \leq 5$	(1, 3, 5)
Güçlü	$\tilde{5}$	$u_M(x) = (x-3)/(5-3)$ $u_M(x) = (7-x)/(7-5)$	$3 \leq x \leq 5$ $5 \leq x \leq 7$	(3, 5, 7)
Çok güçlü	$\tilde{7}$	$u_M(x) = (x-5)/(7-5)$ $u_M(x) = (9-x)/(9-7)$	$5 \leq x \leq 7$ $7 \leq x \leq 9$	(5, 7, 9)
Tamamıyla güçlü	$\tilde{9}$	$u_M(x) = (x-7)/(9-7)$	$7 \leq x \leq 9$	(7, 9, 9)

### 3. Araştırmanın Yöntemi

Çalışmada makine-teçhizat seçiminde bütünleşmiş bir bulanık AHS ve TOPSIS modeli önerilmektedir. Bu amaçla metal sanayinde CNC tezgah alımına etki eden faktörler ve alternatif tezgahlar literatür taraması ve uzman görüşlerinden yararlanılarak belirlenecektir. Kriterler belirlendikten sonra, karar vericilerin dilsel değerlendirmeleri ÜBS yardımıyla sayısallaştırılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulacaktır. Sonraki aşama bulanık AHS yardımıyla kriter ağırlıklarının hesaplanması ve alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesidir. Bu aşamada bulanık TOPSIS yaklaşımı kullanılarak alternatiflerin seçim ve sıralama sonuçları elde edilecektir.

#### 3.1. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci

Bu çalışmada Chang'ın (1996) mertebe (büyüklük) analizi (*extent analysis*) esas alınacağından, bulanık analitik hiyerarşi uygulamasında ÜBS kullanılacaktır. Mertebe analizinin aşamaları aşağıdaki gibidir (Chang, 1996; Büyüközkan, 2004; Kahraman vd., 2004):

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  nesnelere setini ve  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  amaçlar setini göstermek üzere alınan her nesne ve her amaç ( $gi$ ) için sırasıyla büyüklük analizi gerçekleştirilir. Bu nedenle her nesne için  $m$  adet mertebe analiz değeri elde edilir:

$$M_{gi}^j : M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

1. Aşama.  $i$ . nesne için bulanık sentetik mertebe değeri aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (3)$$

Burada  $S_i$  değerini elde etmek için (4) ve (5)'deki bulanık toplama işlemleri uygulanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (5)$$

Daha sonra (5)'deki vektörün tersi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad \forall u_i, m_i, l_i > 0 \quad (6)$$

Son olarak (3)'deki  $S_i$  değeri aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \\ = \left( \sum_{j=1}^m l_j \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \sum_{j=1}^m m_j \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \sum_{j=1}^m u_j \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (7)$$

2.Aşama.  $M_1 = (l_1, m_1, u_1) \geq M_2 = (l_2, m_2, u_2)$  durumunun olabilirlik derecesi aşağıdadır:

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (8)$$

$x \geq y$  ve  $\mu_{M_1}(x) = \mu_{M_2}(y)$  durumunu sağlayan bir  $(x, y)$  söz konusu olduğunda  $V(M_1 \geq M_2) = 1$  elde edilir.  $M_1$  ve  $M_2$  konveks bulanık sayılar olduğundan eğer  $m_1 \geq m_2$  ise  $V(M_1 \geq M_2) = 1$  olur ve;

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) = \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $d$ ,  $\mu_{M_1}$  ve  $\mu_{M_2}$  arasındaki en yüksek kesişim noktası olan D'nin ordinatıdır.  $M_1$  ve  $M_2$ 'nin karşılaştırılabilmesi için  $V(M_1 \geq M_2)$  ve  $V(M_2 \geq M_1)$  değerlerinin her ikisine de gereksinim vardır.

3. Aşama. Konveks bir bulanık sayının k adet konveks bulanık sayıdan  $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$  daha büyük

olabilirlik derecesi aşağıdaki biçimde tanımlanır.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k. \quad (10)$$

$$D'(S_i) = \min V(S_i \geq S_k) \text{ olduğunu varsayalım, } k=1, 2, \dots, n; k \neq i \text{ için ağırlık vektörü, } W' = (D'(S_1), D'(S_2), \dots, D'(S_n))^T \quad (11)$$

olacaktır. Burada  $S_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )  $n$  elemandan oluşmaktadır.

4. Aşama. Normalize edilmiş ağırlık vektörleri aşağıdaki biçimde elde edilir.

$$W = (D(S_1), D(S_2), \dots, D(S_n))^T \quad (12)$$

Burada  $W$ , bulanık olmayan bir sayıdır.

### 3.2. Bulanık TOPSIS

İdeal çözüme yakınlığa göre sıralama yapma yöntemi (Technique for order preference by similarity to ideal solution-TOPSIS) seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en kısa mesafede ve negatif ideal çözümden ise en uzak mesafede olması ilkesine dayanmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981). Karar problemlerinde bulanık TOPSIS yaklaşımı kullanılarak, kriterlerin ve alternatiflerin önem düzeylerinin kesin ya da mutlak (crisp) sayılar yerine bulanık sayılarla ifade edilmesi sağlanır. Aşağıda bulanık TOPSIS yaklaşımının aşamaları yer almaktadır (Chen vd., 2006, s.294-295; Yang ve Hung, 2007, s.131-132):

1. Aşama. Değerlendirmede kullanılacak kriter ve karar vericilerin (KV) belirlenmesi,

$A_j$  alternatif sayısını,  $C_n$  kriter sayısını,  $\tilde{w}_i$  kriterlerin ağırlıklarını ve  $K$  karar verici (KV)'leri göstermek üzere,  $\tilde{X} = \{\tilde{x}_{ij} \mid i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,J\}$ ,  $A_j$ 'nin  $C_n$ 'e göre performans skoru olarak ifade edilir. Bu durumda problem matris formunda aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_j & \tilde{x}_{j1} & \tilde{x}_{j2} & \dots & \tilde{x}_{jn} \end{matrix} \quad (13)$$

2. Aşama. Dilsel değerlendirmelerinin ÜBS'lara dönüştürülerek, kriter ağırlıklarının elde edilmesi,

$\tilde{X}$  matrisinin ağırlık vektörü  $\tilde{w}_i = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]$  biçiminde ifade edilir.

Dolayısıyla matrisin elemanları ve ağırlıkları sırasıyla  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  ve

$\tilde{w}_i = (w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, w_{i4})$  biçiminde gösterilir.

3. Aşama. Normalize edilmiş karar matrislerinin oluşturulması,

$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ,  $\tilde{x}_j^- = (a_j^-, b_j^-, c_j^-)$  ve  $\tilde{x}_j^* = (a_j^*, b_j^*, c_j^*)$  olmak üzere  $\tilde{r}_{ij}$ 'nin hesaplanması;

$$\tilde{r}_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} \tilde{x}_{ij} (\div) x_j^* = \left( \frac{a_{ij}}{a_j^*}, \frac{b_{ij}}{b_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \\ \tilde{x}_j^- (\div) x_{ij}^* = \left( \frac{a_j^-}{a_{ij}^*}, \frac{b_j^-}{b_{ij}^*}, \frac{c_j^-}{c_{ij}^*} \right) \end{array} \right\} \text{biçimindedir.} \quad (14)$$

Böylece  $\tilde{r}_{ij}$  normalize edilmiş karar matrisinin elemanları  $[0,1]$  aralığında yer alırlar.

4. Aşama. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması  $\tilde{V}$ ,

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{n \times j} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J.$$

$$\text{burada } \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} (\times) \tilde{w}_i \quad (15)$$

5. Aşama. Pozitif ideal ( $A^*$ ) ve negatif ideal ( $A^-$ ) çözümlerin hesaplanması,

$$A^* = \{\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^* \dots, \tilde{v}_i^*\} = \left\{ \left( \max_j v_{ij} \mid i \in F \right), \left( \min_j v_{ij} \mid i \in M \right) \right\} \quad (16)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^- \dots, \tilde{v}_i^-\} = \left\{ \left( \min_j v_{ij} \mid i \in F \right), \left( \max_j v_{ij} \mid i \in M \right) \right\} \quad (17)$$

Burada  $F$  fayda kriterini ve  $M$  maliyet kriterini göstermektedir.

6. Aşama. Alternatiflerin ( $A^*$ ) ve ( $A^-$ )'den uzaklıklarının hesaplanması;

$\tilde{a} = (a_1, b_1, c_1)$  ve  $\tilde{b} = (a_2, b_2, c_2)$  olmak üzere iki ÜBS arasındaki uzaklık tepe noktası metodu (vertex method) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır (Chen vd., 2006, s.293):

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]}$$

Bu durumda alternatiflerin ( $A^*$ ) ve ( $A^-$ )'den uzaklıkları;

$$D_j^* = \sum_{i=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_i^*), \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (18)$$

$$D_j^- = \sum_{i=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_i^-), \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (19)$$

7. Aşama. Alternatiflerin ideal çözüme yakınlık katsayılarının hesaplanması,



$$CC_j = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-} \quad (20)$$

8. Aşama. Alternatiflerin yakınlık katsayılarına ( $CC_j$ ) göre sıralanmasıdır.

#### 4. Uygulama

##### 4.1. CNC Seçimine Etki Eden Kriter ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Bütünleşmiş bulanık AHS ve TOPSIS uygulamasındaki ilk aşama, modelde yer alan kriter ve alternatiflerin belirlenmesidir. Bu amaçla metal sanayinde yer alan ve faaliyetlerinde CNC kullanan firmalarda çalışan üretim, bakım-onarım ve kalite kontrol uzmanlarının görüşlerinden yararlanılmıştır. Çalışmada görüşlerine başvuru alan 15 uzman 5 ile 10 yıl arasında tecrübeye sahip orta kademe yöneticilerden seçilmiştir. Daha sonra CNC tezgah satın alma kararına etki eden faktörler, literatür taraması ve seçilen uzmanlarla ikili görüşmeler neticesinde belirlenmiştir. Bu kapsamda maliyet, güvenlik, verimlilik, esneklik, kullanım kolaylığı ve satış sonrası servis (Önüt vd., 2008; Arslan vd., 2004; Ayağ ve Özdemir, 2006; Yurdakul, 2004; Kaya vd., 2007) kriterleri ve sektörde yoğunlukla kullanılan 4 alternatif CNC teknolojisi (Mazak, Haas, Seiki, Maho) belirlenmiştir. Aşağıda karar kriterleri ve açıklamaları yer almaktadır.

*Maliyet (ML)*: Firmaların alternatif CNC tezgahları arasında seçim yapmalarını etkileyecek unsurların başında tezgahların satınalma maliyetleri gelmektedir (Ayağ ve Özdemir, 2006; Önüt vd., 2008).

*Güvenlik (GV)*: Güvenlik, makine teçhizatın sahip olduğu mekanik risklerden daha çok, çalışılan iş ortamı, çalışanların eğitimi ve koruyucu ekipman kullanımını konularını içermektedir (Önüt vd., 2008, s.449). Güvenlik sorunu olan bir CNC, iş kazalarına ve üretim aksamalarına neden olabilir (Kaya vd., 2007).

*Verimlilik (VR)*: CNC tezgahla güvenli üretim yapılması, üretim süresince daha fazla ürün işlenebilmesi, kalitede ve tezgah performansında süreklilik sağlanması önemli verimlilik faktörleridir (Önüt vd., 2008, s.449).

*Esneklik (ES)*: CNC tezgahın farklı parçaları işleyebilmesi (Çimren vd., 2006), tezgah kapasitesi ve ürün değişikliği durumunda gereken hazırlık zamanı önemli esneklik göstergeleridir (Ayağ ve Özdemir, 2009).

*Kullanım kolaylığı (KK)*: CNC kontrolünde kullanılan yazılımın kolay anlaşılır olması, eğitim zamanını ve çalışan hatasını azaltarak üretim etkinliğini artıracaktır (Kaya vd., 2007, s.576). Ayrıca, bilgisayar destekli tasarım ve üretimin uyumlu olmasını sağlayacaktır (Önüt vd., 2008, s.449).

*Satış sonrası servis (SS)*: Şirketlerin CNC yatırımlarından istenilen kazancı sağlamaları, tezgahlarını sorunsuzca kullanabilecekleri süreye bağlıdır. Bu nedenle satış sonrası servis desteği, eğitim hizmetleri ve yedek parça temini CNC seçiminde önemlidir (Kaya vd., 2007, s.576).

##### 4.2. Bulanık AHS ve TOPSIS Yaklaşımının Aşamaları

1. Aşama. Verilerin Toplanması ve İkili Karşılaştırma Matrislerinin Elde Edilmesi: CNC seçimine etki eden faktörler ve alternatifler belirlendikten sonra 5'li likert ölçeği ve ikili karşılaştırmaları içeren bir anket hazırlanmış ve sektörde yer alan uzmanlardan anketi

yanıtlamaları istenmiştir. CNC tezgah seçim kriterlerini karşılaştırmak için hazırlanan anket formunun bir bölümü Ek-1’de görülmektedir. Sonraki adım, karar vericilerin dilsel değerlendirmelerinin sayısallaştırılmasıdır. Karşılaştırmalarda kullanılan ölçek Tablo 1’de daha önce sunulmuştur. Tablo 2’de uzmanların değerlendirmelerinin ortalamaları alınarak elde edilen bulanık ikili karşılaştırmalar matrisi yer almaktadır.

**Tablo 2:** Bulanık üçgensel sayılarla kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	ML	GV	VR	ES	KK	SS
ML	(1, 1, 1)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)
GV	(1/9, 1/7, 1/5)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
VR	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/3, 1, 1)
ES	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)
KK	(1/5, 1/3, 1)	(1/7, 1/5, 1/3)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)
SS	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/9, 1/7, 1/5)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 1, 1)

2. *Aşama. Kriterlerin Bulanık sentetik mertebe değerlerinin elde edilmesi:* Tablo 2’deki değerlere 1. adımda verilen (3)-(7) nolu eşitlikler uygulanarak her bir kriter için bulanık sentetik mertebe değeri hesaplanır.

$$S_{ML}=(14, 24, 34) \otimes (1/105.1, 1/70.3, 1/41.8)=(0.133, 0.341, 0.813)$$

$$S_{GV}=(11.1, 19.14, 27.2) \otimes (1/105.1, 1/70.3, 1/41.8)=(0.106, 0.272, 0.651)$$

$$S_{VR}=(2.82, 3.73, 6.67) \otimes (1/105.1, 1/70.3, 1/41.8)=(0.027, 0.053, 0.159)$$

$$S_{ES}=(2.13, 3.33, 6) \otimes (1/105.1, 1/70.3, 1/41.8)=(0.02, 0.047, 0.144)$$

$$S_{KK}=(8.34, 14.53, 21.33) \otimes (1/105.1, 1/70.3, 1/41.8)=(0.079, 0.207, 0.510)$$

$$S_{SS}=(3.4, 5.54, 9.87) \otimes (1/105.1, 1/70.3, 1/41.8)=(0.032, 0.079, 0.236)$$

3. *Aşama. Kriterlerin minimum olabilirlik derecelerinin hesaplanması:* Bu aşamada öncelikle (8)-(11) nolu eşitlikler uygulanarak kriterlerin olabilirlik ve minimum olabilirlik dereceleri bulunur.

$$V(S_{ML} \geq S_{GV}, S_{VR}, S_{ES}, S_{KK}, S_{SS})=1, V(S_{GV} \geq S_{ML}, S_{VR}, S_{ES}, S_{KK}, S_{SS})=0.882,$$

$$V(S_{VR} \geq S_{ML}, S_{GV}, S_{ES}, S_{KK}, S_{SS})=0.083, V(S_{ES} \geq S_{ML}, S_{GV}, S_{VR}, S_{KK}, S_{SS})=0.034,$$

$$V(S_{KK} \geq S_{ML}, S_{GV}, S_{VR}, S_{ES}, S_{SS})=0.737, V(S_{SS} \geq S_{ML}, S_{GV}, S_{VR}, S_{ES}, S_{SS})=0.281$$

4. *Aşama. Kriter ağırlıklarının elde edilmesi:* Son olarak (12) nolu eşitlik yardımıyla ağırlık vektörü normalleştirilerek kriter ağırlıkları;  $W=(0.331, 0.292, 0.028, 0.011, 0.24, 0.093)^T$  hesaplanır.

5. *Aşama. Alternatiflerin performans skorlarının belirlenmesi:* Bulanık AHS yardımıyla kriter ağırlıklarının belirlenmesinden sonra, bulanık TOPSIS kullanarak seçilecek alternatif belirlenmelidir. Bunun için ilk olarak ÜBS yardımıyla alternatiflerin (Mazak, Haas, Seiki ve Maho) kriterlere göre önem düzeylerinin belirlenmesi gerekir. Bu aynı zamanda alternatiflerin performans skorlarını göstermektedir. Alternatifleri kriterlere göre karşılaştırmak için hazırlanan anket örneği Ek-2’de sunulmaktadır. Değerlendirmede kullanılan dilsel ağırlıklar ve bunlara karşılık gelen ÜBS şu şekilde belirlenmiştir: (1,1,1)-çok zayıf, (1,3,5)-zayıf, (3,5,7)-orta, (5,7,9)-iyi, (7,9,9)-çok iyi. Tablo 3’de, uzmanların değerlendirmelerinin ortalamaları alınarak elde edilen ÜBS yer almaktadır.

**Tablo 3:** Alternatiflerin kriterlere göre dilsel değerlendirmeleri

	Mazak	Haas	Seiki	Maho
Maliyet	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(7, 9, 9)	(7, 9, 9)
Güvenlik	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
Verimlilik	(7, 9, 9)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)
Esneklik	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)
Kullanım kolaylığı	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
Satış sonrası servis	(7, 9, 9)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)

6. *Aşama. Performans skorlarının normalize edilmesi:* Alternatiflerin performans skorlarının normalize edilebilmesi için (14) nolu eşitlik kullanılır. Tablo 3’de görüldüğü gibi yalnızca ilk kriter maliyet kriteri, diğerleri ise fayda kriteridir. Örneğin, Seiki alternatifinin maliyet kriterine göre değerlendirmesi ÜBS olarak (7,9,9) değeridir. Bu durumda normalleştirme işlemi;  $(1,3,5)/(7,9,9)=(1/7,3/9,5/9)=(0.143,0.333,0.556)$  olacaktır. Bir diğer örnek fayda kriteri için verilebilir. Örneğin Haas alternatifinin kullanım kolaylığı kriterine göre değerlendirmesi (1,3,5) değeridir. Normalleştirme işlemi ise;  $(1,3,5)/(5,7,9)=(1/5,3/7,5/9)=(0.200,0.429,0.556)$  olacaktır. Tablo 4’de normalize edilmiş karar matrisleri sunulmaktadır.

**Tablo 4:** Normalize edilmiş karar matrisi

	Mazak	Haas	Seiki	Maho
ML	(1.000, 1.000, 1.000)	(0.333, 0.600, 0.714)	(0.143, 0.333, 0.556)	(0.143, 0.333, 0.556)
GV	(1.000, 1.000, 1.000)	(0.600, 0.714, 0.778)	(1.000, 1.000, 1.000)	(1.000, 1.000, 1.000)
VR	(1.000, 1.000, 1.000)	(0.143, 0.333, 0.556)	(0.714, 0.778, 1.000)	(0.143, 0.333, 0.556)
ES	(1.000, 1.000, 1.000)	(1.000, 1.000, 1.000)	(0.200, 0.429, 0.556)	(0.600, 0.714, 0.778)
KK	(1.000, 1.000, 1.000)	(0.200, 0.429, 0.556)	(0.600, 0.714, 0.778)	(1.000, 1.000, 1.000)
SS	(1.000, 1.000, 1.000)	(0.429, 0.556, 0.778)	(0.143, 0.333, 0.556)	(0.143, 0.333, 0.556)

7. *Aşama. Alternatiflerin ağırlıklı normalize edilmiş değerlerinin hesaplanması:* Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi (15) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır. Bunun için bulanık AHS’den elde edilen kriter ağırlıkları (4. Aşama) ile normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin çarpılması gerekir. Tablo 5’de ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisleri görülmektedir.

**Tablo 5:** Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi

	Mazak	Haas	Seiki	Maho
ML	(0.331, 0.331, 0.331)	(0.110, 0.199, 0.236)	(0.047, 0.110, 0.184)	(0.047, 0.110, 0.184)
GV	(0.292, 0.292, 0.292)	(0.175, 0.209, 0.227)	(0.292, 0.292, 0.292)	(0.292, 0.292, 0.292)
VR	(0.028, 0.028, 0.028)	(0.004, 0.009, 0.016)	(0.020, 0.022, 0.028)	(0.004, 0.009, 0.016)
ES	(0.011, 0.011, 0.011)	(0.011, 0.011, 0.011)	(0.002, 0.005, 0.006)	(0.007, 0.008, 0.009)
KK	(0.244, 0.244, 0.244)	(0.049, 0.105, 0.136)	(0.146, 0.174, 0.190)	(0.244, 0.244, 0.244)
SS	(0.093, 0.093, 0.093)	(0.040, 0.052, 0.072)	(0.013, 0.031, 0.052)	(0.013, 0.031, 0.052)

8. *Aşama. Alternatiflerin pozitif ideal (A\*) ve negatif ideal (A-) çözümden uzaklıklarının ve yakınlık katsayılarının hesaplanması:* Bu aşamada öncelikle pozitif ideal (A\*) ve negatif ideal (A-) çözümler hesaplanır. Bu değerlerin elde edilmesinde (16) ve (17) numaralı eşitlikler kullanılır. Çalışmada pozitif ideal çözüm (A\*) (1,1,1) olarak ve

negatif ideal çözüm ( $A^-$ ) ise (0,0,0) olarak alınmıştır (Önüt vd., 2008, s.450). Sonra, alternatiflerin pozitif ideal ( $A^*$ ) ve negatif ideal ( $A^-$ )’den çözümden uzaklıklarının ve yakınlık katsayılarının hesaplanarak sıralanması gerçekleştirilir. Bu amaçla (18)-(20) numaralı eşitlikler kullanılır. Tablo 6’da alternatiflerin uzaklıkları, yakınlık katsayıları ve sıralama sonuçları görülmektedir. Yakınlık katsayısı arttıkça sıralama iyileşmektedir. Buna göre sıralama Mazak, Maho, Seiki, Haas biçiminde olmalıdır. Mazak en yüksek yakınlık katsayısı değeri (0.167) ile seçilmesi en uygun CNC olarak belirlenmiştir.

**Tablo6:** Uzaklıklar, yakınlık katsayıları ve alternatiflerin sırası

	$D_j^*$	$D_j^-$	$CC_j^*$	SIRA
Mazak	5.001	0.999	0.167	1
Haas	5.446	0.575	0.095	4
Seiki	5.367	0.654	0.109	3
Maho	5.303	0.717	0.119	2

#### 4.3. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, sonuçların, kriter ağırlıklarında oluşabilecek değişikliklere ne derece duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Tablo 7’de görüldüğü gibi, 10 farklı durum için duyarlılık analizi yapılmış ve alternatiflerin aldığı yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre ilk beş durum, diğer kriter ağırlıkları değişirken ilk kriterin aldığı maksimum ağırlıklara ve sonraki beş durum ilk kriterin aldığı minimum ağırlıklara göre analiz yapılabilmesini sağlamaktadır.

**Tablo 7:** Kriterlere verilen farklı ağırlıklar

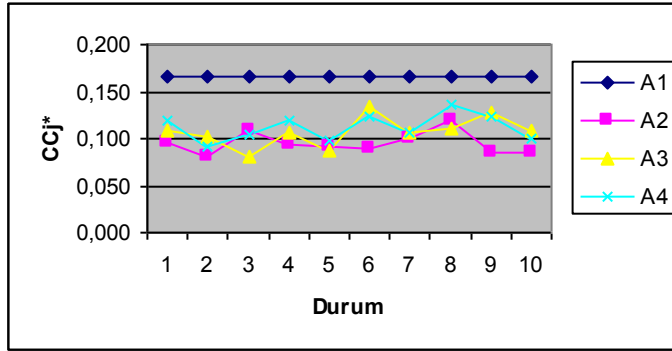
DURUM	Maliyet	Güvenlik	Verimlilik	Esneklik	Kullanım Kolaylığı	Satış Sonrası Servis
1	(0.331)	(0.292)	(0.028)	(0.011)	(0.244)	(0.093)
2	(0.331)	(0.028)	(0.292)	(0.011)	(0.244)	(0.093)
3	(0.331)	(0.011)	(0.028)	(0.292)	(0.244)	(0.093)
4	(0.331)	(0.244)	(0.028)	(0.011)	(0.292)	(0.093)
5	(0.331)	(0.093)	(0.028)	(0.011)	(0.244)	(0.292)
6	(0.011)	(0.331)	(0.292)	(0.028)	(0.244)	(0.093)
7	(0.011)	(0.028)	(0.331)	(0.292)	(0.244)	(0.093)
8	(0.011)	(0.292)	(0.028)	(0.331)	(0.244)	(0.093)
9	(0.011)	(0.244)	(0.292)	(0.028)	(0.331)	(0.093)
10	(0.011)	(0.093)	(0.292)	(0.028)	(0.244)	(0.331)

Tablo 8, 10 farklı durum için alternatiflerin aldığı yakınlık katsayılarını göstermektedir.

**Tablo 8:** Farklı kriter ağırlıkları için alternatiflerin yakınlık katsayıları ( $CC_j^*$ )

DURUM	Mazak	Haas	Seiki	Maho
1	0.167	0.095	0.109	0.119
2	0.167	0.081	0.101	0.092
3	0.167	0.109	0.081	0.105
4	0.167	0.093	0.106	0.119
5	0.167	0.092	0.088	0.099
6	0.167	0.089	0.133	0.124
7	0.166	0.100	0.106	0.107
8	0.166	0.118	0.111	0.136
9	0.167	0.085	0.129	0.124
10	0.167	0.085	0.108	0.099

Şekil 2'de görüldüğü gibi duyarlılık analizi sonuçları ve uzman görüşlerine dayalı bütünleşmiş bulanık AHS ve TOPSIS sonuçları büyük ölçüde benzerlik taşımaktadır. Tablo 8'de, tüm durumlarda Mazak alternatifi ilk sırada yer almıştır.



**Şekil 2:** Duyarlılık analizi

## 5. Sonuç

Sistematiik olmayan makine-teçhizat seçim süreci, üretim ve değer kaybına neden olabilecektir. Literatüre göre, CNC seçimi matematiksel, sezgisel ya da ÇKKV teknikleri yardımıyla yapılmaktadır. Çalışmada CNC seçim ve değerlendirilmesinde iki aşamalı bütünleşmiş bulanık AHS ve TOPSIS yöntemi önerilmektedir. Seçim süreci üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak metal sanayindeki firmalarda çalışan uzman görüşlerinden ve literatür taramasından yararlanılarak CNC tezgah seçimine etki eden 6 temel kriter ve 4 alternatif CNC teknolojisi belirlenmiştir. İkinci aşamada geliştirilen anket yardımıyla bu kriterler bulanık AHS yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve son olarak bulanık TOPSIS yaklaşımı yardımıyla en iyi CNC alternatifi seçilmiştir. Ayrıca, duyarlılık analizi de seçilen alternatifi en iyi CNC teknolojisi olduğunu destekler niteliktedir.

Önerilen yöntem, çok sayıda alternatif, kriter ve karar vericiyi dikkate aldığından diğer yöntemlere kıyasla daha gerçekçi sonuçlar sunabilen bir BÇKKV tekniğidir. Önerilen yöntemin en önemli katkısı ise Bulanık küme teorisi ile birlikte kullanılmasıdır. Bulanık

küme teorisi sayısal olarak ifade edilemeyen insan düşünce ve yargılarının da dikkate alınmasını sağladığından kurulan modele esneklik katmaktadır. Ancak, önerilen yöntem bulanık olmayan yöntemlerle yapılan hesaplamalara oranla daha fazla çaba ve işlem gerektirir. Ayrıca yöntemin etkin biçimde uygulanabilmesi için, karar vericiler, kriterler ve kriter ağırlıklarının objektif biçimde belirlenmesi gerekir. Buna rağmen, bütünleşmiş bulanık AHS ve TOPSIS, bulanık bir ortamda nitel ve nicel çok sayıda kriterin bir arada değerlendirilmesini gerektiren problemler için oldukça uygun bir yöntemdir. Ayrıca literatürde makine-teçhizat seçiminde iki veya daha fazla matematiksel yöntemi birleştiren çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle bütünleşmiş bulanık AHS ve TOPSIS yöntemi, belirsiz ve kesin olmayan durumlarda etkin bir karar verme aracı olarak kullanılabilir. Yöntemin bir diğer faydası ise oldukça basit, esnek ve kullanımı kolay bir yaklaşım olmasıdır. Son olarak, önerilen yöntem firmalara özgü bir takım değişikliklerle tüm firmaların üretim teknolojisi seçim kararlarında uygulanabilecektir.

### Kaynaklar

- 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.
- Ayag, Z. (2007). A hybrid approach to machine tool selection through AHP and simulation. *International Journal of Production Research*, 45(9): 2029-2050.
- Ayag, Z. ve Ozdemir, R.G. (2006), "A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17: 179-190.
- Büyüközkan, G. (2004), "Multi-criteria decision making for e-marketplace selection", *Internet Research*, 14(2): 139-154.
- Chan, F.T.S. ve Swarnkar, R. (2006), "Ant colony optimization approach to a fuzzy goal programming model for a machine tool selection and operation allocation problem in an FMS", *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*, 22: 353-362.
- Chang, D.Y. (1996), "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, 95 (3): 649-655.
- Chen, C-T., Lin, C-T. ve Huang, S-F.(2006), "A Fuzzy Approach For Supplier Evaluation And Selection In Supply Chain Management", *International Journal of Production Economics*, 102:289-301.
- Chu, T.C. ve Lin, Y.C. (2003), "A fuzzy TOPSIS method for robot selection", *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 21:284-290.
- Çebi F., ve Kahraman, C. (2007), "Tek ve Çok ölçütlü ABC analizleri için Bulanık model önerileri", Sıtkı Gözülü'ye Armağan, (Ed.) Demet Bayraktar, Ferhan Çebi ve Bersam Bolat, Çağlayan Basımevi, İstanbul, s. 79-96.
- 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.
- Devedzic, G.B. ve Pap, E. (1999), " Multicriteria-multistages linguistic evaluation and ranking of machine tools", *Fuzzy Sets and Systems*, 102: 451-461.
- Georgakellos, D.A. (2005), "Technology selection from alternatives: A scoring model for screening candidates in equipment purchasing", *International Journal of Innovation and Technology Management*, 2(1), 1-18.

- Gopalakrishnan, B., Yoshii, T. ve Dappili, S. M. (2004), "Decision support system for machining center selection", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(2), 144-154.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*, Springer-Verlag, New York, NY.
- Kahraman, C. Cebeci, U. ve Ruan, D. (2004), "Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey", *International Journal of Production Economics*, 87:171-184.
- Kaya, İ., Kılınç, M.S. ve Çevikcan, E. (2007) "Makine-Teçhizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci", *Mühendis ve Makina*, 49(576): 8-14.
- Layek, A.M. ve Lars, J.R. (2000), "Algorithm based decision support system for the concerted selection of equipment in machining/assembly cells", *International Journal of Production Research*, 38(2): 323-339.
- Lin, Z.C. ve Yang, C.B. (1996), "Evaluation of machine selection by the AHP method", *Journal of Materials Processing Technology*, 57: 253-258.
- 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.
- Oeltjenbruns, H., Kolarik, W.J. ve Schnadt-Kirschner, R. (1995), "Strategic planning in manufacturing systems - AHP application to an equipment replacement decision", *International Journal of Production Economics*, 38:189-197.
- 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.
- Saaty, T.L. (1994), "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", *INTERFACES*, 24(6): 19-43.
- Saremi, M., Mousavi, S.F. ve Sanayei, A. (2009), "TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2742-2749.
- Sun, S. (2002), "Assessing computer numerical control machines using data envelopment analysis", *International Journal of Production Research*, 40(9): 2011-2039.
- 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(9): 2079-2097.
- Yang, T. ve Hung, C.-C. (2007), "Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem", *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*, 23(1): 126-137.
- 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.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338-353.

**Ek-1.** CNC tezgah seçim kriterlerini karşılaştırmak için hazırlanan anket örneği

Kriter (I)	Karşılaştırılan Kriter (II)	T.G		Ç.G		G.		O.		E.		T.E.	
		(7, 9, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)						
	Durum (I, II)	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
Maliyet	Güvenlik Verimlilik Esneklik Kullanım K. S. Servis												
<b>I.Durum:</b> Kriter (I), Kriter (II) den daha önemli; <b>II. Durum:</b> Kriter (II), Kriter (I) den daha önemli T.G:tamamıyla güçlü; Ç.G: çok güçlü; G:güçlü; O:orta; E:eşit; T.E:tamamıyla eşit													

**Ek-2.** Alternatifleri kriterlere göre karşılaştırmak için hazırlanan anket örneği

Kriter	Alternatif	Çok iyi (7, 9, 9)	İyi (5, 7, 9)	Orta (3, 5, 7)	Zayıf (1, 3, 5)	Çok zayıf (1, 1, 1)
Maliyet	Mazak Haas Seiki Maho					