

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİ KULLANAN MAKİNE-EKİPMAN SEÇİM ÇALIŞMALARINDA BULANIKLIĞIN SONUÇLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yusuf Tansel İç^{*}, Mustafa Yurdakul^{**}

Özet

Bulanıklığın ve belirsizliğin bulunduğu seçim problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) modellerinde tamsayıların yerine bulanık sayıların kullanılması tavsiye edilmektedir. Literatürde pek çok farklı ÇKKV modeli geliştirilmiş olmasına rağmen, şimdiye kadar tamsayıların yerine bulanıklığın kullanılmasının sağladığı faydayı analiz eden bir yaklaşım geliştirilmemiştir. Bu çalışmada bulanık sayıların kullanılmasının getireceği faydalar literatürde makine-ekipman seçimi çalışmalarında en sık rastlanan Bulanık ÇKKV yöntemleri olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) ve Bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada, onaltı adet işleme merkezi ve yedi adet seçim kriteri içeren bir seçim problemi oluşturulmuştur. Bulanık sayılar için tamsayı, üçgen bulanık sayı ve trapez bulanık sayı tipleri kullanılarak seçim probleminde farklı işleme merkezi sıralamaları elde edilmiştir. Sıralamalar arasındaki farklılıklar Spearman'ın Sıra İlişkisi Testi ile analiz edilmiştir. Bulanık sayıların kullanımında oluşan faydanın seviyesini belirlemek için çeşitli senaryolar üretilmiştir.

Anahtar Sözcükler: *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY), Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (BÇKKVY), Bulanık AHS, Bulanık TOPSIS, Makine Seçimi.*

ANALYSIS OF THE BENEFIT GENERATED BY USING FUZZY NUMBERS IN MULTI CRITERIA DECISION MAKING MODELS DEVELOPED FOR MACHINE TOOL SELECTION STUDIES

Abstract

Fuzzy numbers instead of crisp ones are recommended to use in Multi Criteria Decision Making Models (MCDM) when fuzziness and incomplete information exist in selection problems. Although many different fuzzy MCDM models are developed in the literature, the benefits provided by using them are not analyzed up to now. In this paper, two most common MCDM approaches, namely Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and Fuzzy TOPSIS (FTOPSIS), are used to determine the benefits provided by using fuzzy numbers in machine tool selection problems. In the paper, a sixteen alternative machining center and seven selection criteria problem is

* T.C. Ziraat Bankası A.Ş., Ticari Krediler Daire Başkanlığı, Ankara, ytic@ziraatbank.com.tr.

** Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, yurdakul@gazi.edu.tr

Yusuf Tansel İç & Mustafa Yurdakul

constructed. Using two different fuzzy number types (trapezoidal and triangular) and crisp (non-fuzzy) numbers separate rankings are obtained for the selection problem. The differences in the results are analyzed using Spearman's Rank Correlation Test. Various scenarios are developed to show the level of benefits in using fuzzy numbers.

Keywords: *Multi Criteria Decision Making Models (MCDMM), Fuzzy Multi Criteria Decision Making Models (FMCDMM), Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, Machine Selection.*

GİRİŞ

Literatür incelendiğinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin bulanık mantıkla birleştirilerek makine-ekipman seçiminin yapıldığı çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) ve Bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yöntemlerini kullanmaktadırlar. Bulanık AHS (BAHS) ve Bulanık TOPSIS (BTOPSIS) yöntemlerinin uygulanmasında kriterlerin göreceli ağırlıkları tespit edilirken bulanık oran ölçeği kullanılmaktadır. Dolayısıyla alternatiflerin sonuç puanları bulanık sayılarla ifade edilmektedir. Optimum alternatifin tespiti ise bulanık sayıların sıralanması neticesinde bulunmaktadır.

Literatürde BAHS yönteminin kullanıldığı çalışmalardan bir tanesi Chan, Chan ve Tang (2000) tarafından ortaya konan çalışma olup, BAHS yöntemi ile teknoloji seçimi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte Lee, Lau, Liu ve Tam (2001) BAHS yöntemi ile modüler ürün tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Chen (2002) ise çalışmasında lojistik dağıtım merkezlerinin performans değerlendirmesini yapmıştır. Diğer taraftan Pegero ve Rangone (1998) BAHS yöntemini kullanarak İleri İmalat Teknolojileri (İİT) seçimine yönelik bir çalışma sunmuşlardır. Bunlara ilave olarak Jiang ve Hsu (2003) imalat proseslerinin değerlendirildiği bir BAHS modeli ortaya koymuşlardır. Ayrıca Bozdağ, Kahraman ve Ruan (2003) BAHS ile bilgisayar destekli imalat sistemleri ile ilgili bir seçim çalışması sunmuşlardır. Yine Wang, Shaw ve Chen (2000) Esnek İmalat Hücreleri (EİH) için makine seçimine yardımcı olabilecek bir bulanık ÇKKV modeli geliştirmişlerdir. Bunlara ilave olarak Cheng ve Lin (2002) ise askeri tank seçimi için BAHS yöntemini kullanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Literatürde BAHS yönteminin yanı sıra BTOPSIS yönteminin kullanıldığı çeşitli makine-ekipman seçimi çalışmaları da bulunmaktadır. Örneğin Chu ve Lin (2003) robot seçimine yönelik olarak bir bulanık TOPSIS uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca Byun ve Lee (2004) bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak hızlı prototip süreci seçimi için bir

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi

karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bunlara ilave olarak Chen (2000) grup karar verme işleminde bulanık TOPSIS metodunu açıklayan bir çalışma ortaya koymuştur. Yukarıda açıklanan bu çalışmaların dışında literatürde birçok alanda rastlanan ÇKKV yöntemlerinin bulanık sayılarla uygulandığı diğer bazı çalışmalara; Kahraman, Cebeci ve Ruan (2004), Yu (2001), Cheng (1997), Kulak ve Kahraman (2005), Chen (2004), Chiou ve Tzeng (2005), Tzeng ve Chiang (2007) ile Duran ve Aguilo (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar örnek olarak verilebilir.

Son dönemde yapılan bazı çalışmalarda bulanık ÇKKV yöntemlerinde bulanık sayıların kullanımının elde edilen sıralama sonuçlarına sağladığı katkılar tartışma konusu olmuştur. Bu çalışmalardan bir tanesi Duran ve Aguilo (2007) tarafından gerçekleştirilen ve bulanık AHS ile CNC tornalama merkezin seçiminin yapıldığı çalışmadır. Bu çalışmada kullanılan esneklik, operasyon kolaylığı, güvenilirlik, kalite, kurulum kolaylığı ve bakım yapılabilme olarak adlandırılan 6 farklı kriterin ağırlıklandırma işlemi üçgen bulanık sayılarla gerçekleştirilmiştir. Yazarlar burada kriterlerin birbirlerine göre göreceli ağırlıklarının belirlenme işleminde karşılaştıkları kararsızlığı üçgen bulanık sayılarla modellediklerini ve bulanık sayıların kullanımının önemli faydalar sağladığını belirtmektedirler. Özellikle çalışmalarında bir kriterin diğer kriterlere göre "2 ila 4 arasında bir değerde daha az önemli" şeklindeki gibi bir hükmün ifade edilmesinin AHS yöntemi ile yapılamaması nedeniyle Bulanık AHS yöntemini tercih ettikleri belirtmektedirler.

Diğer taraftan Saaty ve Tran (2007) ise sundukları çalışmada, Analitik Hiyerarşi Sürecinde kriter ağırlıklarının bulanıklaştırılarak kullanılmasının sonuçların yetersiz olmasını değiştirmeyeceğini ve yeterli bir katkının yapılamadığını, ağırlıklandırma işleminde bulanık sayıların kullanımının sıralama sonuçlarının doğruluğu üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığını sundukları örneklerle desteklemek suretiyle ifade etmişlerdir.

Saaty ve Tran'ın çalışmalarında belirttikleri şekilde tam anlamıyla AHS yöntemi gibi yeterli sonuçlar alınamaması durumu söz konusu olsa da, makine-ekipman seçimi gibi kriterlerin birbirlerine göre göreceli önemlerinde karşılaşılan kararsızlıkların bulanık sayıların kullanılmasıyla aşılması ve sonuçta alternatifler arasında bir sıralamanın elde edilebilmesi de önemlidir. Diğer taraftan işleme merkezi seçiminde kriterlerin göreceli önemlerinin değerlendirilmesinde AHS yöntemindeki gibi tam sayı ile ifade edilen kesin önemlerden çok karar verici bulanık sayılarla ifade edilebilen bulanık önemlere ihtiyaç duyabilmektedir. Çalışmamızda ve Duran ve

Yusuf Tansel İç & Mustafa Yurdakul

Aguiło'nun çalışmasında olduğu gibi özellikle makine seçim çalışmalarında kriterlerin ağırlıklandırılmasında hükümler net hükümlerden çok bulanık hükümleri içerebilmektedir. Örneğin makine esnekliğinin makine güvenilirliğine göre göreceli önemi, bir işleme merkezinin hız değerinin güç değerine göre göreceli önemi veya iş milinde kullanılacak olan takımın boyunun takım çapına göre göreceli öneminin tespitinde kesin hükümlerden çok bulanık hükümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık sayılar bu tür durumların kolaylıkla modellenebilmesine imkan vermektedir.

Yukarıda yapılan bu açıklamalar doğrultusunda son dönemdeki tartışmalara ışık tutabilmek, yeni açılımlar sağlamak amacıyla çalışmamızda AHS ve TOPSIS yöntemlerinde kriter ağırlıklarının göreceli önemlerinin bulanık sayılarla tespit edilmesinin sıralama sonuçlarına etkisi ve sağladığı faydalar işleme merkezi seçim problemi üzerinde incelenmiştir. Yapılan analizlerde 16 adet işleme merkezi ve 7 adet seçim kriteri kullanılmıştır. Öncelikle işleme merkezleri AHS ve TOPSIS yöntemleriyle derecelendirilmiş, ardından bu yöntemlerde kullanılan ağırlık puanlarının üçgen bulanık sayı ve trapez bulanık sayı karşılıkları ayrı ayrı uygulanarak farklı sıralamalar elde edilmiştir. Daha sonra sıralamalardaki farklılıklar Spearman'ın Sıra İlişkisi Testi ile analiz edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise bulanık aralıklar artırılarak sonuçlardaki değişimler ve sapma miktarlarının mertebesi gözlenmiştir. Yapılan inceleme ve analizlere ilişkin detaylar ilerleyen bölümlerde verilmektedir.

SPEARMAN'IN SIRA İLİŞKİSİ TESTİ

Spearman'ın Sıra İlişkisi Testi, iki farklı veri setinin birbiriyle olan sıralama ilişkisini ölçen bir istatistik yöntemidir. Yöntemin hesaplama eşitlikleri aşağıda kısaca verilmiştir (Parkan ve Wu, 1999).

$$d^k = x^k - y^k, \quad k=1, \dots, K \quad (1)$$

$$r_s = 1 - \left\{ 6 \cdot \left[\frac{\sum_{k=1}^K (d^k)^2}{K \cdot (K^2 - 1)} \right] \right\} \quad (2)$$

$$Z = r_s \cdot \sqrt{(K-1)} \quad (3)$$

Eşitliklerde; d^k : İki farklı veri setinin her bir elemanının arasındaki fark; K : Veri sayısı; r_s : Tutarlılık ölçüsü; Z : Test istatistiği olarak tanımlanmaktadır. Bu testte hesaplanan r_s değeri 1,0 değeri için tam

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi

tutarlılığı gösterir. İki sıralama arasında kabul edilebilir bir tutarlılığın olabilmesi için r_s değerinin en azından 0,5 değerinden büyük olması beklenebilir. Diğer taraftan kabul edilebilir bir Z değeri, seçilen $\alpha=0,05$ değeri için belirlenen Z_α tablo değerinden ($Z_{0,05} = 1,645$) büyük ise iki veri setinin sıralama sonuçları birbiriyle tutarlı olarak kabul edilebilir. Aksi takdirde reddedilir.

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNDE BULANIKLIĞIN İNCELENMESİ

Bu bölümde ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı seçim modellerinde kriter ağırlıklarının tam sayı ve bulanık sayı olarak verilmesinin sonuçlar üzerindeki etkisi analiz edilmektedir. Bulanık TOPSIS (BTOPSIS) ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanma esaslarına ilişkin açıklamalar; Chu ve Lin (2003), Byun ve Lee (2004), Chen (2000), Chen ve Tzeng (2004), Parkan ve Wu (1999), tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda; Bulanık AHS (BAHS) ve AHS yönteminin uygulanma esaslarına ilişkin geniş açıklamalar ise; Chan vd. (2000), Lee vd. (2001), Chen (2002), Pegero ve Rangone (1998), Jiang ve Hsu (2003), Bozdağ vd. (2003), Wang vd. (2000), Cheng (2002), Yu (2001), Cheng (1997), Kulak ve Kahraman (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ayrıntılı olarak mevcuttur. Yapılan analizlerde kullanılan 16 adet işleme merkezinin kriterlere göre özellikleri ise Tablo 1'de verilmektedir.

BTOPSIS Yönteminin Değerlendirilmesi

BTOPSIS yönteminin değerlendirilmesinde uygulanan kriter ağırlıkları Tablo 2'de verilmektedir. Bu kriterler kullanılarak Tablo 1'de özellikleri verilen işleme merkezlerinin BTOPSIS puanları hesaplanmıştır. İşleme merkezlerine kriter ağırlıkları; tam sayı, üçgen bulanık sayı ve trapez bulanık sayı şeklinde ayrı ayrı uygulanarak BTOPSIS yöntemiyle üç farklı işleme merkezi sıralaması tespit edilmiştir. Daha sonra bu sıralamalar arasındaki ilişki Spearman'ın Sıra İlişkisi Testi ile tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 0,99, 0,94 ve 0,97 olarak hesaplanan r_s değerlerine göre her üç sıralama birbiriyle tutarlı çıkmıştır (Tablo 3).

Yapılan bu analizde kriter ağırlığının tek aralıklı bulanık sayı olarak verilmesinin ağırlıkların tam sayı olarak uygulandığı duruma göre sonuçları yeterince değiştirmedeği görülmektedir. Aşağıda bu sefer bazı kriterlerde bulanık aralıklar 3-4 kademe açılmak suretiyle ağırlıklar

Yusuf Tansel İç & Mustafa Yurdakul

yeniden düzenlenerek (Tablo 4) işleme merkezlerinin BTOPSIS ile sıralamaları tekrar hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan 16 Adet İşleme Merkezine İlişkin Özellikler

Marka	Model	Tabla alanı (mm ²)	İş mili hızı (d/d)	Güç (kW)	Takım Sayısı	Takım değiştirme süresi (s)	Takım çapı (mm)	Konumlama (10 ⁻³ mm)
MAZAK	FH6000	250 000	10 000	37	40	5	135	2
OKUMA	MA500HB	250 000	6 000	30	40	4	140	4
MATSUURA	HMAX500	250 000	15 000	22	60	3	80	2
MAZAK	PFH5800	250 000	15 000	22	40	3	95	2
MORISEIKI	NVD4000DCG	315 000	12 000	19	20	3	80	1
DAHLIL	MCH500	250 000	3 500	19	60	8	110	1
HYUNDAI	SPTV550D	266 500	10 000	16	24	4	90	5
EXCEL	PM610T32	292 741	8 000	16	33	5	95	5
CHALLENGER	MCV2416	273 600	15 000	8	16	6	90	5
LEADWEL	MH500	250 000	4 000	15	40	13	125	1
EAGLE	VMC600	320 000	10 000	11	22	5	89	5
EXCEL	PMCT18	303 386	8 000	10	19	5	95	5
AWEA	AV610	315 000	8 000	8	20	6	100	5
CHALLENGER	MCV2412	273 600	8 000	8	16	6	80	5
TAKSAN	TMC500/1	300 000	6 000	7	16	6	80	5
DAHLIL	MCV510	287 000	8 000	8	16	8	90	1

Tablo 2. Kriterlere Uygulanan Ağırlık Puanları

Kriterler	Tamsayı Ağırlık	Üçgen Ağırlık	Bulanık Ağırlık	Trapez Bulanık Ağırlık
Tabla Alanı (mm ²)	9	8,9,9,10		8,9,10,10
İş mili Hızı (d/d)	8	7,8,8,9		7,8,9,10
İş mili Gücü (KW)	2	1,2,2,3		1,2,3,4
Takım Sayısı (adet)	3	2,3,3,4		2,3,4,5
Takım Değiştirme Süresi (s)	4	3,4,4,5		3,4,5,6
Takım Çapı (mm)	5	4,5,5,6		4,5,6,7
Konumlama (10 ⁻³ mm)	6	5,6,6,7		5,6,7,8

Sonuçlar incelendiğinde, geniş aralıklı bulanık sayı uygulandığı durumlarda BTOPSIS sıralama sonuçlarında değişme elde edildiği görülmektedir. Kriter ağırlıklarının tamsayı verildiği durumla geniş aralıklı

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi

bulanık sayı verildiği durum arasındaki işleme merkezlerinin sıralama ilişkisine ait r_s değeri 0,718 olarak hesaplanmıştır. Buna göre tam tutarlılık değerinden %28,2 oranında sapma gerçekleşmiştir (Tablo 5).

Tablo 3. BTOPSIS Değerlendirme Sonuçları

Marka	Model	Tam sayı Puan	Sıra (a)	Üçgen Puan	Sıra (b)	Trapez Puan	Sıra (c)	a-b	a-c	b-c
MATSUURA	HMAX500	0,4528	5	0,4532	5	0,4617	4	0	1	1
MAZAK	FH6000	0,4905	3	0,496	2	0,5148	2	1	1	0
MAZAK	PFH5800	0,451	6	0,4519	6	0,4586	5	0	1	1
DAHLIH	MCH500	0,3937	11	0,3971	9	0,4127	8	2	3	1
OKUMA	MA500HB	0,4154	7	0,4211	7	0,4383	7	0	0	0
CHALLENGER	MCV2416	0,3961	10	0,3946	11	0,3867	11	-1	-1	0
LEADWELL	MH500	0,3901	12	0,3933	12	0,4038	9	0	3	3
MORISEIKI	NVD4000	0,5689	1	0,5652	1	0,5486	1	0	0	0
EXCEL	PM610T32	0,3782	13	0,3796	13	0,3708	13	0	0	0
HYUNDAI	SPTV550D	0,2661	15	0,2679	15	0,2681	15	0	0	0
EAGLE	VMC600	0,4907	2	0,4886	3	0,4701	3	-1	-1	0
AWEA	AV610	0,4676	4	0,4664	4	0,4481	6	0	-2	-2
EXCEL	PMCT18	0,3967	9	0,3962	10	0,3811	12	-1	-3	-2
DAHLIH	MCV510	0,4141	8	0,4125	8	0,4027	10	0	-2	-2
CHALLENGER	MCV2412	0,2201	16	0,2203	16	0,2144	16	0	0	0
TAKSAN	TMC500/1	0,3597	14	0,3582	14	0,3421	14	0	0	0
SONUÇ: Tamsayı, üçgen bulanık sayı, trapez bulanık sayılarla yapılan alternatif ağırlıklandırma sonucunda işleme merkezlerinin sıra ilişkileri tutarlıdır (r_s değerlerine göre yüzde tutarlılık oranları: %99, %94, %97).							d ²	8	40	24
							r_s	0,9	0,9	0,9
								9	4	7
							Z	3,8	3,6	3,7
		3	5	4						

Tablo 4. Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Sayıların Uygulanması

Kriter (Senaryo 2)	Tamsayı Ağırlık	Trapez Bulanık Ağırlık	Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Ağırlık
Tabla Alanı (mm ²)	9	8,9,10,10	8,9,10,10
İş mili Hızı (d/d)	8	7,8,9,10	7,8,9,10
İş mili Gücü (KW)	2	1,2,3,4	1,2,6,8
Takım Sayısı (adet)	3	2,3,4,5	2,3,5,9
Takım Değiştirme Süresi (s)	4	3,4,5,6	4,5,7,8
Takım Çapı (mm)	5	4,5,6,7	4,5,8,9
Konumlama (10 ⁻³ mm)	6	5,6,7,8	5,6,7,8

Tablo 5. Kriter Ağırlıklarının Tamsayı Veya Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Sayı Alındığı BTOPSIS Uygulamalarının Karşılaştırılması

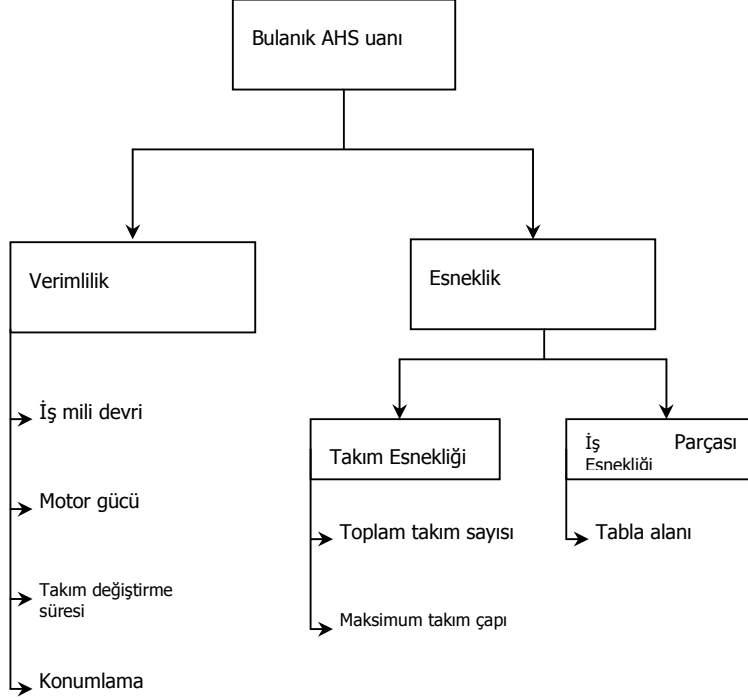
Marka	Model	Tamsayı	Sıra	Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Sayı	Sıra	Spearman Testi	
MATSUURA	HMAX500	0,4528	5	0,4671	4	1	
MAZAK	FH6000	0,4905	3	0,5672	1	2	
MAZAK	PFH5800	0,451	6	0,4536	6	0	
DAHLİH	MCH500	0,3937	11	0,4551	5	6	
OKUMA	MA500HB	0,4154	7	0,4992	2	5	
CHALLENGER	MCV2416	0,3961	10	0,3374	13	-3	
LEADWELL	MH500	0,3901	12	0,4242	7	5	
MORISEIKI	NVD4000	0,5689	1	0,4906	3	-2	
EXCEL	PM610T32	0,3782	13	0,3582	10	3	
HYUNDAI	SPTV550D	0,2661	15	0,2629	15	0	
EAGLE	VMC600	0,4907	2	0,4194	8	-6	
AWEA	AV610	0,4676	4	0,4025	9	-5	
EXCEL	PMCT18	0,3967	9	0,3446	12	-3	
DAHLİH	MCV510	0,4141	8	0,3543	11	-3	
CHALLENGER	MCV2412	0,2201	16	0,1957	16	0	
TAKSAN	TMC500/1	0,3597	14	0,3035	14	0	
SONUÇ: Kriter aralıklarının bulanıklığı artınca sıralama sonuçlarındaki sapmalar da artmıştır. r_s değeri 0,99 seviyesinden 0,72 seviyesine düşmüştür.						d^2	192
						r_s	0,718
						Z	2,779

Bulanık AHS Yönteminin Değerlendirilmesi

Bu bölümde bir önceki bölümde BTOPSIS yönteminde yapılan analizler BAHS yöntemi için de uygulanmıştır. BTOPSIS yönteminden farklı olarak BAHS yönteminde kriterler Şekil 1'deki gibi hiyerarşik olarak sınıflandırılmıştır. Ardından her bir kriterin ağırlık puanı ikili karşılaştırma matrisi yardımıyla hesaplanmıştır (Tablo 6). Ağırlıkların tamsayı yerine bulanık sayı verilmesi durumunda kriterler Tablo 7'de verildiği gibi ifade edilmiştir. Ardından kriter değerleri (özellikleri) ve bulanık ağırlıklar BAHS yöntemi metodolojisi kullanılarak işleme merkezlerinin derecelendirme puanları hesaplanmıştır. BAHS yönteminde kriter ağırlıklarının tamsayı (geleneksel AHS uygulaması), tek aralıklı üçgen bulanık sayı ve trapez bulanık sayı (bulanık AHS uygulaması) olarak uygulanması sonucunda işleme merkezlerinin sıralama sonuçları birbiriyle tutarlı çıkmaktadır.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi

Sıralamalar arasındaki tutarlılık miktarı %98-%99 (r_s değerleri 0,98 ve 0,99) olarak hesaplanmıştır (Tablo 8).



Şekil 1. BAHS Yönteminde Kullanılan Kriterlerin Hiyerarşik Yapısı

Yapılan analizlerden farklı olarak, kriter ağırlıkları geniş aralıklı bulanık sayı olarak kullanılarak (Ek-1) işleme merkezlerinin BAHS puanları yeniden hesaplanmıştır (Tablo 9). Tek kademe bulanık aralıkla işleme merkezlerinin sıralamalarının hesaplandığı durumda r_s değerleri 0,98 ve 0,99 olarak hesaplanmaktayken, kriter ağırlıkları geniş aralıklı bulanık sayı alındığında r_s değeri 0,965 olarak hesaplanmaktadır. Buna göre sıralama ilişkisinin tutarlılığının azaldığı ve sıralamada 2-3 mertebe sapmalar meydana geldiği görülmektedir.

Yusuf Tansel İç & Mustafa Yurdakul

Tablo 6. AHS Yönteminde Kullanılan Tamsayı Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ve Ağırlık Puanları

VERİMLİLİK	A	B	C	D	<i>Ağırlık Puanı</i>
İş mili devri (A)	1,00	3,00	5,00	0,20	<i>0,32</i>
Motor gücü (B)		1,00	0,33	7,00	<i>0,23</i>
Takım değiştirme süresi(C)			1,00	3,00	<i>0,28</i>
Konumlama (D)				1,00	<i>0,17</i>
TAKIM ESNEKLİĞİ	E		F		<i>Ağırlık Puanı</i>
Toplam takım sayısı (E)	1,00		0,20		<i>0,17</i>
Maksimum takım çapı (F)			1,00		<i>0,83</i>
ESNEKLİK	G		H		<i>Ağırlık Puanı</i>
Takım esnekliği (G)	1,00		7,00		<i>0,875</i>
İş Parçası esnekliği (H)			1,00		<i>0,125</i>
KULLANIM AMACI	VERİMLİLİK		ESNEKLİK		<i>Ağırlık Puanı</i>
VERİMLİLİK	1,00		3,00		<i>0,75</i>
ESNEKLİK			1,00		<i>0,25</i>

Tablo 7. AHS Tamsayı Kriter Ağırlıklarının Bulanık Sayı Karşılıkları

İfadesel Ölçek	Saat'in Ölçeği	Üçgen Bulanık Ölçek	Üçgen Bulanık Ölçeğin Ters	Trapez Bulanık Ölçek	Trapez Bulanık Ölçeğin Ters
Düşük	1	1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1	1, 1, 1, 1
Orta Altı	3	2, 3, 3, 4	1/4, 1/3, 1/3, 1/2	2, 3, 4, 5	1/5, 1/4, 1/3, 1/2
Orta	5	4, 5, 5, 6	1/6, 1/5, 1/5, 1/4	4, 5, 6, 7	1/7, 1/6, 1/5, 1/4
Yüksek	7	6, 7, 7, 8	1/8, 1/7, 1/7, 1/6	6, 7, 8, 9	1/9, 1/8, 1/7, 1/6
En Yüksek	9	8, 9, 9, 10	1/10, 1/9, 1/9, 1/8	8, 9, 10, 10	1/10, 1/10, 1/9, 1/8

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışmada gerçekleştirilen analizlere göre işleme merkezi seçiminde TOPSIS yöntemi yerine BTOPSIS yönteminin, AHS yöntemi yerine BAHS yönteminin kullanılması kriter ağırlığının belirlenmesinde kararsızlık durumlarının modellenmesi açısından avantaj sağlamaktadır.

ÇKKV yöntemlerinde kriterlerin ağırlıklandırılması en önemli aşamadır. ÇKKV yöntemlerinde bir çok durumda karar vericiler kriter ağırlıklarının belirlenmesinde zorlanmaktadır. Çünkü kriter ağırlığının hangi rakamla ifade edileceği durumu kararsızlığa yol açabilmektedir. Örneğin bir kriter 7,8 veya 9 rakamlarından herhangi biri kullanılarak

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi

“önemli” olarak nitelenebilir. Böyle bir durumda karar verici kriter ağırlığını bulanık sayılarla ifade etmek suretiyle bu kararsızlık durumunu modelleyebilir. Bu durumda kriter ağırlığı 7,8,9 veya 6,7,8,9 gibi bir bulanık sayıyla verilebilmektedir.

Tablo 8. BAHS Değerlendirme Sonuçları

Marka	Model	Tamsayı Puan	Sıra (a)	Üçgen Puan	Sıra (b)	Trapez Puan	Sıra (c)	a-b	a-c	b-c	
MAZAK	FH6000	0,739	1	0,926	1	1,05	1	0	0	0	
MAZAK	PHF5800	0,679	2	0,841	2	0,977	2	0	0	0	
MATSUURA	HMAX500	0,666	3	0,82	3	0,952	3	0	0	0	
MORISEIKI	NVD4000	0,599	4	0,742	5	0,862	4	-1	0	1	
OKUMA	MA500HB	0,591	5	0,751	4	0,851	5	1	0	-1	
DAHLIH	MCH500	0,432	6	0,557	6	0,626	7	0	-1	-1	
CHALLENGER	MCV2416	0,419	7	0,528	7	0,627	6	0	1	1	
HYUNDAI	SPTV550D	0,394	8	0,514	8	0,609	8	0	0	0	
EXCEL	PM610T32	0,363	9	0,428	11	0,558	10	-2	-1	1	
EAGLE	VMC600	0,362	10	0,474	9	0,5582	9	1	1	0	
DAHLIH	MCV510	0,341	11	0,445	10	0,518	11	1	0	-1	
EXCEL	PMCT18	0,322	12	0,427	12	0,503	12	0	0	0	
LEADWELL	MH500	0,319	13	0,418	13	0,46	14	0	-1	-1	
AWEA	AV610	0,314	14	0,413	14	0,481	13	0	1	1	
CHALLENGER	MCV2412	0,246	15	0,329	15	0,396	15	0	0	0	
TAKSAN	TMC500/1	0,235	16	0,315	16	0,376	16	0	0	0	
SONUÇ: Tamsayı, üçgen bulanık sayı ve trapez bulanık sayılarla yapılan alternatif ağırlıklandırma sonucunda işleme merkezlerinin sıra ilişkileri tutarlıdır (r_s değerlerine göre yüzde tutarlılık oranları: %98, %99 ve %98 olarak hesaplanmıştır).								d^2	8	6	8
								r_s	0,988	0,991	0,988
								Z	3,827	3,839	3,827

Tablo 9. Kriter Ağırlıklarının Tamsayı Veya Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Sayı Alındığı BAHS Uygulamalarının Karşılaştırılması

Marka	Model	Tamsayı	Sıra	Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Sayı	Sıra	Spearman Testi	
MAZAK	FH6000	0,739	1	1,1636	2	-1	
MAZAK	PHF5800	0,679	2	1,1687	1	1	
MATSUURA	HMAX500	0,666	3	1,1497	3	0	
MORISEIKI	NVD4000DCG	0,599	4	1,0341	4	0	
OKUMA	MA500HB	0,591	5	0,9158	5	0	
DAHLI	MCH500	0,432	6	0,6654	9	-3	
CHALLENGER	MCV2416	0,419	7	0,7865	6	1	
HYUNDAI	SPTV550D	0,394	8	0,7322	7	1	
EXCEL	PM610T32	0,363	9	0,6443	10	-1	
EAGLE	VMC600	0,362	10	0,6691	8	2	
DAHLI	MCV510	0,341	11	0,6063	11	0	
EXCEL	PMCT18	0,322	12	0,5858	12	0	
LEADWELL	MH500	0,319	13	0,4651	15	-2	
AWEA	AV610	0,314	14	0,5519	13	1	
CHALLENGER	MCV2412	0,246	15	0,4802	14	1	
TAKSAN	TMC500/1	0,235	16	0,4467	16	0	
SONUÇ: Tek kademe bulanık aralıklı işleme merkezlerinin sıralamalarının hesaplandığı durumda r_s değerleri %98-%99 tutarlı olarak hesaplanmaktayken, kriter ağırlıkları geniş aralıklı bulanık sayı alındığında r_s değeri 0,965 olarak hesaplanmaktadır.						d^2	24
						r_s	0,965
						Z	3,736

Tablo 10. Tam Sayı ve Geniş Aralıklı Bulanık Sayı Olarak Kriter Ağırlıkları

Kriter	Tamsayı Ağırlık	Değiştirilen Ağırlıklar
Tabla Alanı (mm ²)	9	9,9,9,9
İş mili Hızı (d/d)	8	8,8,8,8
İş mili Gücü (KW)	2	1,2,6,8
Takım Sayısı (adet)	3	2,3,7,9
Takım Değiştirme Süresi (s)	4	4,4,4,4
Takım Çapı (mm)	5	4,5,9,10
Konumlama (10 ⁻³ mm)	6	6,6,6,6

Kriter ağırlıkları verilirken dikkat edilmesi gereken husus, bulanık aralığın artırılması durumunda sıralama sonuçlarındaki değişimlerin de artacağıdır. Aşağıda bu duruma ilişkin BTOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan bir örnek verilmektedir. Örnekte kriter ağırlıklarının tamsayı değerleriyle hesaplanan sıralamalarla, bazı kriterlerin trapez tam sayı

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi

olarak ve yukarıdaki bölümlerdekinden daha geniş aralıklı alınarak yapılan sıralamalar birbiriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 10). Bu ağırlıklarla yapılan sıralama sonuçları Tablo 11’de verilmektedir. Buna göre trapez bulanık sayıların aralığı daha da genişletildiğinde sıralamalarda önemli ölçüde sapmalar meydana gelmektedir. Tutarlık ölçüsü r_s 0,668 olarak tam tutarlılık değerinden %33 oranında sapmaktadır. Sıralamalarda da 3 ila 8 basamak sapmalar meydana gelebilmektedir.

Tablo 11. Kriter Ağırlıklarının Tamsayı Veya Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Sayı Alındığı Durumda Sıralamaların Karşılaştırılması

Marka	Tamsayı Kriter ile Ağırlığı BTOPSIS Sonucu	Sıra	Geniş Aralıklı Trapez Bulanık Sayı ile Ağırlığı Sonucu	Sıra	Spearman Testi	
MATSUURA	0,4528	5	0,4567	5	0	
MAZAK	0,4905	3	0,5723	1	2	
MAZAK	0,4510	6	0,4364	6	0	
DAHLIH	0,3937	11	0,4627	3	8	
OKUMA	0,4154	7	0,5124	2	5	
CHALLENGER	0,3961	10	0,3223	13	-3	
LEADWELL	0,3901	12	0,434	7	5	
MORISEIKI	0,5689	1	0,4585	4	-3	
EXCEL	0,3782	13	0,3453	10	3	
HYUNDAI	0,2661	15	0,2386	15	0	
EAGLE	0,4907	2	0,4033	8	-6	
AWEA	0,4676	4	0,391	9	-5	
EXCEL	0,3967	9	0,3279	11	-2	
DAHLIH	0,4141	8	0,3277	12	-4	
CHALLENGER	0,2201	16	0,1732	16	0	
TAKSAN	0,3597	14	0,2863	14	0	
SONUÇ: Hesaplanan $r_s = 0,668$ değeri ile iki sıralama arasında tam tutarlılık değeri 1,0’dan %33 oranında sapma meydana geldiği görülmektedir.					d^2	226
					r_s	0,668
					Z	2,586

Sonuç olarak ÇKKV yöntemleriyle makine seçim çalışmalarında kararsızlığın (bulanıklığın) az olduğu durumlarda kriter ağırlıkları tam sayı olarak verilebilir. Çünkü bu durumda kriterlerin tek aralıklı bulanık sayı olarak tespit edilmesi tam sayı kriter ağırlıklarının kullanıldığı durumlara göre sonuçlarda önemli bir değişiklik yaratmamaktadır. Dolayısıyla bu durumda bulanık sayıların kullanımı anlamlı olmamaktadır. Ancak kararsızlığın fazla olduğu durumlarda kriterler bulanık sayılarla ifade

Yusuf Tansel İç & Mustafa Yurdakul

edilebilir. Özellikle bulanıklık aralığının 3-4 kademedan fazla olduğu durumlarda bulanık sayıların kullanımı anlamlı olmakta, tam sayı ağırlık kullanılan durumlara göre farklı sıralama sonuçları elde edilebilmektedir. Gelecek dönemlerde yapılacak çalışmalar açısından kararsızlık durumlarının modellenmesinde bulanık sayıların kullanımı tavsiye edilebilir. Ancak araştırmacılar bulanık aralığın arttığı durumlarda sıralama sonuçlarının yeterliliğinin veya tatmin derecesinin durumunu göz önünde bulundurmalıdır. Bunun yanı sıra unutulmamalıdır ki, her şeye rağmen bulanık sayıların ÇKKV yöntemlerinde kullanılması kararsızlık durumlarının modellenmesinde ve bir sonuca ulaşabilmede tercih edilebilecek önemli bir araçtır.

KAYNAKÇA

- Bozdağ, C.E., Kahraman, C. & Ruan, D. (2003). Fuzzy Group Decision Making for Selection Among Computer Integrated Manufacturing Systems. *Computers in Industry*, 51:13–29.
- Byun, H.S. & Lee, K.H. (2004). A Decision Support System for the Selection of Rapid Prototyping Process Using the Modified Topsis Method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, April: 1-10.
- Chan, F.T.S., Chan, M.H. & Tang, N.K.H. (2000). Evaluation Methodologies for Technology Selection. *Journal of Material Processing Technology*, 107: 330-337.
- Chen, C.T. (2000). Extensions of the Topsis for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114: 1-9.
- Chen, Y.C. (2002). An Application of Fuzzy Set Theory to the External Performance Evaluation of Distribution Centers in Logistics. *Soft Computing*, 6: 64-70.
- Chen, M.F. & Tzeng, G.H. (2004). Combining Grey Relation and TOPSIS Concepts for Selecting an Expatriate Host Country. *Mathematical and Computer Modelling*, 40, (13): 1473–1490.
- Cheng, C.H. & Lin, Y. (2002). Evaluating the Best Main Battle Tank Using Fuzzy Decision Theory with Linguistic Criteria Evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142: 174–186.
- Chiou, H.K. & Tzeng, G.H. (2005). Cheng, D.C.; Evaluating sustainable Fishing Development Strategies Using Fuzzy MCDM Approach. *Omega*, 33 (3): 223–234.
- Chu, T.C. & Lin, Y.C. (2003). A Fuzzy Topsis Method for Robot Selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21: 284-290.
- Duran, O. & Aguilo, J. (2007). Computer-Aided Machine-Tool Selection Based on a Fuzzy-AHP Approach. *Expert Systems with Applications*, In Press.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini Kullanan Makine-Ekipman Seçim Çalışmalarında Bulanıklığın Sonuçlara Etkisinin İncelenmesi

- Jiang, B.C. & Hsu, C.H. (2003). Development of a fuzzy Decision Model for Manufacturability Evaluation. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14: 169-181.
- Kahraman, C. Cebeci, U., 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.
- Kulak, O. & Kahraman, C. (2005). Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process. *Information Sciences*, 170, (2–4):191–210.
- Lee, W.B., Lau, H., Liu, Z. & Tam, S. (2001). A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach in Modular Product Design. *Expert Systems*, 18 (1): 32-42.
- Parkan, C. & Wu, M.L. (1999). Decision Making and Performance Measurement Models with Applications to Robot Selection. *Computers and Industrial Engineering*, 36: 503-523.
- Pegero, A. & Rangone, A. (1998). A Reference Framework for the Application of MADM Fuzzy Techniques to Selecting AMTS. *International Journal of Production Research*, 36 (2): 437-458.
- Saaty, T.L. & Tran, L.T. (2007). On the Invalidity of Fuzzifying Numerical Judgments in the Analytic Hierarchy Proces. *Mathematical and Computer Modelling*, 46: 962–975.
- Tzeng, G.H., Chiang, C.H. & Li, C.W. (2007). Evaluating Intertwined Effects in E-Learning Programs: A Novel Hybrid MCDM Model Based on Factor Analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications*, 32: 1028–1044.
- Wang, T.Y., Shaw, C.F. & 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.
- Yu, C.S. (2001). A GP-AHP Method For Solving Group Decision-Making Fuzzy AHP Problems. *Computers & Operations Research*, 29(14): 1969–2001.

Yusuf Tansel İç & Mustafa Yurdakul

EKLER

Ek-1. BAHS'de Kullanılan Geniş Aralıklı Bulanık Sayı Kriter Ağırlıkları

ANA KRİTERLER	VERİMLİLİK	ESNEKLİK
VERİMLİLİK	1 1 1 1	2 3 6 8
ESNEKLİK		1 1 1 1

VERİMLİLİK	İş mili devri	Motor gücü	Takım süresi	değiştirme	Konumlama
İş mili devri	1 1 1 1	2 3 6 8	4 5 9 10		0,2 0,2 0,2 0,2
Motor gücü		1 1 1 1	0,33 0,33 0,33 0,33		6 7 8 9
Takım değiştirme süresi			1 1 1 1		2 3 5 7
Konumlama					1 1 1 1

ESNEKLİK	Takım esnekliği	İş Parçası esnekliği
Takım esnekliği	1 1 1 1	6 7 9 9
İş Parçası esnekliği		1 1 1 1

TAKIM ESNEKLİĞİ	Toplam takım sayısı	Maksimum takım çapı
Toplam takım sayısı	1 1 1 1	0,2 0,2 0,2 0,2
Maksimum takım çapı		1 1 1 1