

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİNDE KULLANILMASI

Yavuz KUL^{*}, Alper ŞEKER^{}, Mustafa YURDAKUL^{***}**

^{*}TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ Gebze Kocaeli, TURKEY

^{**}TÜBİTAK UZAY ODTÜ Yerleşkesi, Ankara, TURKEY

^{***}Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi University, Maltepe, 06570, Ankara, TURKEY

yavuz.kul@tubitak.gov.tr, alper.seker@tubitak.gov.tr, yurdakul@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 10.06.2013; Kabul/Accepted: 16.07.2014)

ÖZET

Günümüzde ortaya çıkan yüksek mukavemetli yeni malzemelerin işleme gereksinimi, çok küçük işleme alanlarında çalışma gerektiren parçaların varlığı, çok hassas ve kırılğan parçaların işlenmesi ihtiyacı ve karmaşık geometrilerin işlenmesinde ortaya çıkan zorluklar nedeniyle geleneksel imalat yöntemlerinin ötesinde yeni üretim teknolojilerine duyulan ihtiyaç Alışılmamış İmalat Yöntemleri (AİY) ile giderilmektedir. Ancak birbirinden çok farklı ve sayıları gittikçe artan AİY arasında işlenecek parçaya ve üretim koşullara en uygun olanını seçmek günümüz imalatçıları için oldukça önemli bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada AİY seçimi için, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Bulanık İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği (BTOPSIS) yöntemlerinin uygulandığı sistematik bir yaklaşım ortaya konmuştur. Çalışmada ayrıca bulanık yöntemlerle elde edilen sonuçlar, bulanık olmayan (klasik) AHP ve TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırılarak bulanıklığın sonuçlar üzerinde etkisi belirlenmiştir. AİY seçimleri konusunda bulanıklığın da dahil edildiği seçim yöntemleri geliştirilmiş ve uygulamalar sonucunda bulanıklığın ve farklı seçim yaklaşımlarından ziyade ikili karşılaştırmalar yoluyla yapılan ağırlıklandırmanın sıralama sonucunda daha etkili olduğu ve Bulanık TOPSIS'ten ziyade Bulanık AHP aşamasının çok daha önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alışılmamış imalat yöntemlerinin seçimi, Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS

USAGE OF FUZZY MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHODS IN SELECTION OF NONTRADITIONAL MANUFACTURING METHODS

ABSTRACT

New manufacturing technologies such as nontraditional manufacturing methods (NMM) were needed recently because of new machining requirements for parts with complex geometries, very narrow machining area and high strength materials and also for very small and delicate parts. Since NMM are diverse and their numbers are increasing with the development of new approaches, selecting the most appropriate one among many NMM requires systematic models which incorporate multi-criteria decision making approaches. In this study, a selection model that uses Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) and Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS) approaches is developed for the selection of the most suitable NMM for a specific application. Furthermore, the effectiveness of the developed approach is evaluated by comparing its results with the ones obtained with non-fuzzy (crisp) versions of the AHP and TOPSIS methods. In this study for selection of NMM, fuzzy logic implemented selection methods are developed and after some case studies it is shown that weights obtained with binary comparisons are more effective for ranking results and FAHP phase is more important than FTOPSIS phase.

Keywords: Selection of nontraditional manufacturing methods, Multi criteria decision making methods, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde kullanılan yüksek mukavemetli yeni malzemeler, çok küçük işleme alanlarında çalışma gerektiren küçük ve kırılğan parçalar, karmaşık geometrilerin işlenmesinde ortaya çıkan zorluklar gibi nedenlerden dolayı yeni üretim teknolojilerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçları gidermek amacıyla ortaya çıkan alışılmamış imalat yöntemleri (AİY) klasik talaş kaldırma yöntemlerinin tersine iş parçası ve takım arasında mekanik ve ısıl gerilimler gibi istenmeyen sonuçlar doğuran direk bir temas oluşturmadan enerji transferi yoluyla parçaları işlemektedir [1]. AİY çok çeşitli ve çok disiplinlidir. Yoğun tecrübeye ve eğitime sahip imalat mühendisleri bile en uygun AİY seçimi konusunda kendilerini yeterli hissetmeyebilir [2]. AİY'deki hızlı değişimler, mühendislik eğitiminde büyük oranda alışılmış imalat yöntemlerine dayalı bilgilerin verilmiş olması, AİY'nin geniş bir alana yayılmış olması gibi çeşitli nedenler AİY seçiminde karar vermeyi zorlaştırıcı unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada AİY seçimi konusunda sistematik bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Karar verme süreci problemin tanımı, kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi, en iyi alternatifin seçimi ve sonuçlarının değerlendirilmesini içeren karmaşık bir süreçtir. Karar sürecini kontrol altında tutmak, karar sürecinin modellenmesi ve analizine imkân veren, karar sürecine etki edebilecek tüm bilgilerin yeterli şekilde değerlendirilmesini sağlayacak sistematik yaklaşımlar sunulması amacıyla çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotları geliştirilmiştir. ÇKKV metotları çoğunlukla nitel ve nicel yöntemlerin birlikte değerlendirilmesine imkan vermektedir. Yöntemlerin çoğunda değerlendirilen bilgi kesin yargılar içeren bilgidir. Bunun yanında gerçek hayatta karar süreci genellikle kesin olmayan öznel bilgilere dayalı bir süreçtir. Böyle durumlarda ise klasik karar verme yöntemleri karar sürecinin kontrol etmekte yetersiz kalmaktadır. Karar verme sürecinde eksik, belirsiz ya da yargısal bilgiler olduğunda ise bulanık küme teorisinin ÇKKV yöntemlerine eklenmesi ve bulanık ÇKKV yöntemlerinin kullanılması daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bulanık küme teorisi, ÇKKV problemlerinin çözümünde alternatiflerin karşılaştırılmasında belirsizliği ele almak için kullanılan bir yöntem olmuştur [3].

Literatür incelendiğinde Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve Bulanık İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği (BTOPSIS) yöntemlerinin en çok işletmelerin tedarikçi, makine kurulum yeri, yazılım ve işletim sistemi seçimi gibi problemlerine uygulandığı görülmektedir [4]. AİY ile ilgili çalışmalar ise oldukça kısıtlıdır ve bulanık olmayan karar verme yöntemlerine dayalıdır. Bu çalışmada literatürde yapılan çalışmalardan farklı

olarak, Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS'in kullanıldığı bir model geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda AİY ve seçilen performans kriterleri esas alınarak BAHP ve BTOPSIS yaklaşımlarına dayalı karar modelleri kurulmuştur. Seçim modelinde kriterlerin ağırlıklarının tespitinde BAHP kullanılmıştır. Alternatiflerin sıralanması aşamasında ise optimal olmayan bir alternatifin karar sürecine dahil edilmesi durumunda alternatifler arasındaki sıralamanın değişme riskinin BTOPSIS yönteminde BAHP yöntemine göre daha az olması, alternatiflerin sıralanması için BAHP yönteminde hesaplara dayanan sentez değerlerinin hesaplanarak alternatiflerin önceliklerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak kriter sayısının artması sonucu ikili karşılaştırma sürecinin karar verici açısından sıkıcı bir hal alması durumu nedeniyle tutarsızlık riskinin artması gibi sebepler göz önünde bulundurularak üç farklı BTOPSIS yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın son bölümünde seçim modelinden elde edilen sonuçlar yorumlanarak literatürde sunulan sonuçlarla karşılaştırılmış ve gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. AİY SEÇİMİNDE ÇKKV UYGULAMALARI – LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

AİY seçimi problemi çoğu kez farklı ve çelişen amaçları içeren bir çok kriterli karar problemi olarak görülür [5]. Bu nedenle imalat prosesi seçimi konusunda yardımcı olacak sistemlere gereksinimin artması ÇKKV metotlarının kullanımını içeren daha sistematik yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu metodlardan biri olan hedef programlamada amaç hedeflerden sapmayı en aza indirmektir [6]. Chakraborty ve Dey [7], AİY seçimi için QFD tabanlı bir uzman sistem önermişlerdir. Chakraborty ve Chakraborty [8] tarafından önerilen yöntem TOPSIS yöntemine uygun olarak karar matrisi, normalize karar matrisinin oluşturulması, AHP ile kriter ağırlıklarının elde edilmesi ve TOPSIS kullanımı ile alternatiflerin sıralanması adımlarından oluşmaktadır. Krohling ve Campanharo [9], grup karar verme konusunda klasik TOPSIS ve Bulanık TOPSIS'i birlikte kullanan bir yöntem önermişlerdir. Aydoğan [10], kaba kümeler teorisine dayalı AHP ve Bulanık TOPSIS yaklaşımı birlikte kullanan bir yöntem önermişlerdir. Kaya ve Kahraman [11], en iyi enerji teknoloji alternatifinin seçimi konusundan Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS kullanan bir yöntem önermiştir. Chakraborty ve ark. [12] digraph teoriiyi kullanarak AİY seçimi için bir uzman sistem önermişlerdir. Das ve Chakraborty [13], imalat sürecinin doğası gereği kriterlerin birbirini etkilemesini dikkate alarak AİY seçimi problemi için Analitik Ağ Prosesi kullanımını öngören bir yöntem önermişlerdir.

Klasik ÇKKV metodlarının uygulanması kriterlerin içerdiği kesin olmayan ve eksik bilgiler nedeniyle ciddi kısıtlara sahiptir [14]. Bellmann ve Zadeh'e göre [15] gerçek dünyada karar verme problemlerinin çoğu amaçların kısıtlarının ve olası aksiyonlarının sonuçlarının kesin olarak bilinmediği bir çevrede gerçekleşir [16]. Bellman ve Zadeh ve Zimmerman belirsizliği karar verme sürecine katmak amacıyla bulanık kümeler teorisini Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerine uyguladılar. Bulanık kümelerin, ÇKKV alanına girmesi ile AHP, TOPSIS, PROMETHEE gibi klasik ÇKKV Yöntemleri bulanık küme teorisine uygun olarak revize edildiler. Bulanık ÇKKV yöntemlerinin sıralama sonuçlarına sağladığı katkılar konusunda yapılan çalışmalardan bir tanesi Duran ve Aguilo [17] tarafından gerçekleştirilen ve bulanık AHS ile CNC tornalama merkezin seçiminin yapıldığı çalışmadır. Çalışmada kullanılan esneklik, operasyon kolaylığı, güvenilirlik, kalite, kurulum kolaylığı ve bakım yapılabilirlik 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.

ÇKKV Metotları kullanarak AİY seçim problemi

konusunda yapılan çalışmaları gösteren özet literatür araştırması sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur. Literatür araştırması sonuçlarından da görüleceği üzere bulanık mantık teorisini kullanan bir çalışma yapılmamıştır. Bununla birlikte prosesi etkileyen pek çok faktör olması nedeniyle karar sürecinde önemli ölçüde belirsizlik unsurları olduğu, bulanık mantık teorisine dayalı yaklaşımların belirsizliği karar sürecine dahil edilmesi konusunda yapacağı pozitif etkiler dikkate alındığı bu çalışmanın literatüre olumlu katkılar sağlayacağı değerlendirilmiştir

3. AİY SEÇİM PROBLEMİ İÇİN ÇKKV METOTLARININ UYGULANMASI (APPLICATION OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS FOR NONTRADITIONAL MANUFACTURING METHODS SELECTION PROBLEM)

Bu çalışmada AİY seçimi konusundasisematik bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır ve bu amaçla AİY seçim kriterleri için hiyerarşik bir model oluşturmuştur. Bu model yardımı ile BAHF kullanılarak öncelik vektörü hesaplanmış, ardından farklı BTOPSIS metodolojileri uygulanarak sonuçlarkarşılaştırılmıştır. Çalışmada en yaygın kullanıma sahip olduğu değerlendirilen 14 AİY arasında seçim yapılmıştır. Alternatif proseslerin performansları için 15 farklı kriter belirlenmiştir. Seçim kriterleri ağırlıklı olarak Yurdakul ve Coğun [18] tarafından yapılan çalışmadan ve Machining Data

Tablo 1. AİY seçimi konusunda yapılan ÇKKV çalışmaları (Multi-criteria decision-making studies for selecting Nontraditional Manufacturing Methods)

Chakraborty ve Dey (2006)		Chakraborty ve Dey (2007)	
Proses seçimi, AHP tabanlı ve grafik ara yüze sahip bir uzman sistem ile gerçekleştirilmektedir.		Proses seçimi (QFD) metoduna dayalı bir grafik arayüzlü uzman sistem ile gerçekleştirilmektedir..	
Alternatif	Kriterler	Alternatif	Kriterler
USM	Malzeme, Şekil Yeterlilik, Proses	USM	Malzeme, Şekil Yeterliliği, Proses
AJM	Yeterliliği, İşleme hızı, Tolerans,	AJM	Yeterliliği, Yüzey Hasarı, Yüzey Kalitesi
ECM	Yüzey Kalitesi, Yüzey Hasarı,Köşe	ECM	Tolerans, Köşe Yarınçap, Üretim Zamanı
EDM	Yarınçap, Proses Maliyeti, Yatırım,	EDM	Proses Maliyeti, Yatırım, Takım – Fikstür,
EBM	Takım – Fikstür, Güç Tüketimi,	EBM	Güç Tüketimi, Verimlilik, Takım
LBM	Verimlilik, Takım Kullanımı,	LBM	Kullanımı
PAM	Ekipman Etkisi, Takım Aşınması, İşleme Kirliliği, Emniyet Zehirlilik	PAM	
Chakladar, Das, Chakraborty (2009)		Das ve Chakraborty (2011)	
Proses seçimi, ikili karşılaştırmaya dayalı digraph model kullanan uzman sistem ile gerçekleştirilmektedir.		ANP tabanlı bir yöntem önerilmiştir.	
Alternatifler	Kriterler	Alternatifler	Kriterler
AJM	Malzeme	USM	Malzeme, Şekil Yeterlilik, Proses
USM	Şekil Yeterliliği	AJM	Yeterliliği, İşleme hızı, Tolerans, Yüzey
CHM	Tolerans –Yüzey Kal	ECM	Kalitesi, Yüzey Hasarı, Köşe Yarınçap
EBM	Güç Tüketimi	CHM	Proses Maliyeti, Yatırım, TakımFikstür,
ECM	İşleme Hızı	EDM	Güç Tüketimi, Verimlilik, Takım
EDM	Maliyet	EBM	Kullanımı, Ekipman Etkisi, Takım
EBM		LBM	Aşınması, İşleme Kirliliği, Emniyet
PAM		PAM	Zehirlilik
		WEDM, WJM	

Handbook, Youssef ve El-Hofy [19] yapılan çalışmalardan derlenen bilgilerle oluşturulmuştur. Belirlenen kriterler açıklamaları ile sunulmuştur: **Tolerans:** Her alternatif AİY için işleme prosesi sonunda elde edilen ürünün ölçüsel doğruluğu tolerans kriteri ile gösterilmektedir. **Yüzey Kalitesi:** Çalışmada profil ölçümleri sonunda elde edilen değerlerin mutlak değer olarak aritmetik ortalamasını alınması ile elde edilen Ra değeri esas alınmıştır. **Yüzey Hasarlama:** Yüzey Hasarlama kriteri ile değişikliklerin yüzeyden iş parçasına ne kadar nüfuz edebildikleri gösterilmektedir. **Köşe Yarıçap:** Köşe yarıçap kriteri ile işleme prosesinin sonunda elde edilebilecek minimum köşe yarıçap değeri esas alınmıştır. **Koniklik:** İşleme derinliği arttıkça işleme jetinin dağılması, aşındırıcıların, işleme kimyasallarının, elektrolit ve dielektik sıvının işleme ortamından uzaklaştırılması esnasında kenar yüzeylerde meydana gelen aşınmalar, elektron ile işlemede dolgu malzemesinin buharlaşması gibi nedenler işleme yüzeylerinde konikliğe neden olmaktadır ve birimi mm/mm'dir. **Delik Çapı:** Prosesde işlenebilecek minimum delik çapını ifade eden kriterdir. **Kesme Kalınlığı:** Prosesde işlenebilecek minimum kesme kalınlığını ifade eden kriterdir. **L/D – t/w oranı:** Prosesin dar ve derin şekillerin işlenmesi konusundaki performansı L/D-t/w kriteri ile ifade edilmiştir. **İşleme Hızı:** Çalışmada malzeme kaldırma performansı işleme hızı kriteri olarak ifade edilmektedir. **Yatırım:** Prosesin uygulanması gereken ilk yatırım maliyetini gösteren kriterdir. **Takım/Fikstür:** Prosesin uygulanması için gerekli takımlar ve fikstürlerin maliyeti gösteren kriterdir. **Takım/Fikstür Aşınması:** Prosesin uygulanması esnasında kullanılan takım ve fikstürlerin aşınması sonucu ortaya çıkan maliyeti gösteren kriterdir. **İşçilik:** Prosesin uygulanması için

öngörülen işçilik maliyetlerinin seviyesini gösteren kriterdir. **Güç Tüketimi:** Prosesin uygulanması için gerekli enerji, kimyasal, aşındırıcı gibi unsurların oluşturduğu maliyeti gösteren kriterdir.

3.1. Şekilsel Uygulama ve Malzeme Yeterliliklerinin Belirlenmesi (Determination of Material Sufficiency and Model Application)

Seçim probleminin ilk adımı olan alternatif kümesinin oluşturulabilmesi için hangi proseslerin hangi şekil uygulamaları ve malzemeler için kullanılabilir olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmada ele alınan AİY'nin hangi işleme operasyonları için uygun olduğu Tablo 2'de gösterilmektedir. Alternatif proseslerin hangi malzeme grupları için kullanılabilir olduğu ise Tablo 3'de sunulmuştur [19,20].

3.2. Karar Matrisinin Oluşturulması (Creating Decision Matrix)

Çalışmada ele alınan her alternatif için kriterlerin performanslarının belirlenmesi ile karar matrisi oluşturulur. Kriter performanslarının değişkenleri nicel ve nitel olarak ifade edilebilir. Değerlendirilen nicel kriterler, proses yeterlilik kriterleri olup tolerans, yüzey kalitesi, yüzey hasarlama, minimum köşe yarıçap, koniklik, minimum delme çapı, minimum kesme kalınlığı, L/D oranı ve işleme hızı değerlerinden oluşmaktadır. Nicel kriterlerin performansları üçgen bulanık sayı (l, m, u) olarak ifade edilmiştir. Buna uygun olarak ele alınan nicel kriterler (alt limit, ortalama, üst limit) şeklinde ifade edilmiştir. Alt limit, ortalama ve üst limit değerleri ise aşağıdaki gibi kurgulanmıştır: Alt Limit (L): Prosesin uygun olmayan koşullarda uygulandığı durumlarda elde edilen proses değerlerini ifade eder. Ortalama (M): Prosesin genel olarak verdiği proses değerleridir.

Tablo 2. Alışılmamış İmalat Yöntemleri ile yapılan proseslerin şekilsel yeterlilikleri (Shape related qualifications of processes using Nontraditional Manufacturing Methods)

PROSES	Delik Delme Operasyonları						Boşluk İşleme		Kesme		Cep İşleme		Grindin g	Deburrin g	Threadin g
	L/D<20			L/D>20			t/w <10	t/w >10	t/w <2	t/w >2	t/w <10	t/w >10			
	D <0,0 5	0,20>D >0,05	D >0,2	D <0,0 5	0,20>D >0,05	D >0,2									
AJM	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
WJM	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
WAJM	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
USM	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
RUSM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ECM	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ECG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
ECH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
CHM	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
EDM	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WED	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
EBM	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
LBM	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
PAM	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0

Ölçü birimi mm.'dir. L, silindirik delik

Tablo 3. AİY malzeme uygunluk tablosu (NMM material compatibility table)

PROSES	Aluminyum	Çelik	Süper Alaşımlar	Titanyum	Refrakter	Plastik	Seramik	Cam
AJM	1	1	1	1	1	1	1	1
WJM	1	1	1	1	1	1	1	1
AWJM	1	1	1	1	1	1	1	1
USM	1	1	1	1	1	1	1	1
RUSM	1	1	1	1	1	1	1	1
ECM	1	1	1	1	1	0	0	0
ECG	1	1	1	1	1	0	0	0
ECH	1	1	1	1	1	0	0	0
CHM	1	1	1	1	1	1	1	1
EDM	1	1	1	1	1	0	0	0
WEDM	1	1	1	1	1	0	0	0
EBM	1	1	1	1	1	1	1	1
LBM	1	1	1	1	1	1	1	1
PAM	1	1	1	1	1	1	0	0

Uygulama değerleri olarak da ifade edilebilir. Üst Limit (U): Prosesin tecrübeli kullanıcılar tarafından çok uygun şartlarda yapıldığı durumlarda elde edilen proses değerleridir. Çalışmadaki nicel kriterlerin performans değerleri Tablo 4'dedir. Tablo 4'deki nicel değerler Coğun [21], Yurdakul ve Coğun [18],

Machining Data Handbook [22], Youssef ve El-Hofy [19] yer alan bilgilerin derlenmesi ile oluşturulmuştur.

Çalışmada nicel kriterlerin yanından sözel değişkenlerle ifade edilen nitel kriterler de kullanılmıştır. Tablo 5'de yer alan değerlendirmeler

Tablo 4. Nicel Kriterler (Proses Yeterlilik Kriterleri) Performans Değerleri (Performance Ratings of Quantitative Criteria)

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (μmRa)			Yüzey Hasarlaması (mm)			Köşe Yarıçap (mm)			Koniklik (mm/mm)		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
AJM	0,120	0,050	0,030	1,25	0,60	0,25	0,0300	0,0250	0,0200	0,25	0,20	0,15	0,006	0,005	0,004
WJM	0,050	0,030	0,020	0,40	0,30	0,20	0,0003	0,0002	0,0001	0,60	0,50	0,40	0,004	0,003	0,003
AWJM	0,060	0,040	0,026	0,40	0,30	0,20	0,0300	0,0250	0,0200	0,60	0,50	0,40	0,004	0,003	0,003
USM	0,025	0,013	0,010	0,75	0,50	0,25	0,0300	0,0250	0,0200	0,09	0,08	0,07	0,005	0,004	0,003
RUSM	0,022	0,012	0,008	0,75	0,50	0,25	0,0300	0,0250	0,0250	0,09	0,08	0,07	0,005	0,004	0,003
ECM	0,100	0,050	0,025	1,50	1,00	0,20	0,0060	0,0050	0,0040	0,25	0,20	0,15	0,003	0,002	0,001
ECG	0,030	0,025	0,010	0,50	0,30	0,20	0,0030	0,0020	0,0010	0,14	0,13	0,12	0,003	0,002	0,001
ECH	0,015	0,013	0,010	0,80	0,50	0,20	0,0030	0,0020	0,0010	0,14	0,13	0,12	0,003	0,002	0,001
CHM	0,080	0,030	0,010	2,50	2,00	0,50	0,0060	0,0050	0,0040	1,35	1,25	1,15	0,400	0,300	0,200
EDM	0,100	0,025	0,010	3,00	2,00	0,30	0,0300	0,0200	0,0100	0,50	0,40	0,30	0,003	0,002	0,001
WEDM	0,025	0,015	0,007	1,25	0,75	0,30	0,0300	0,0200	0,0100	0,25	0,20	0,15	0,060	0,050	0,040
EBM	0,030	0,020	0,010	4,00	3,00	1,00	0,0300	0,0250	0,0250	0,35	0,25	0,15	0,250	0,200	0,150
LBM	0,030	0,020	0,010	1,50	1,00	0,40	0,1500	0,1000	0,0500	0,60	0,50	0,40	0,060	0,050	0,040
PAM	3,000	1,300	0,800	7,50	6,00	5,00	0,9000	0,8000	0,7000	5,00	4,00	3,00	0,080	0,070	0,070
Kriterler	Delik Çapı (mm)			Kesme Kalınlığı (mm)			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı (mm^3/dak)					
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U			
AJM	0,160	0,150	0,140	0,150	0,100	0,090	8,0	10,0	12,0	20,0	50,0	200,0			
WJM	0,160	0,150	0,140	0,160	0,150	0,140	25,0	30,0	35,0	250,0	500,0	2000,0			
AWJM	0,160	0,150	0,140	0,160	0,150	0,140	25,0	30,0	35,0	300,0	600,0	2000,0			
USM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	2,0	2,5	3,0	300,0	600,0	2100,0			
RUSM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	160,0	180,0	200,0	400,0	800,0	2400,0			
ECM	0,600	0,500	0,400	0,110	0,100	0,090	25,0	30,0	35,0	500,0	2000,0	14000,0			
ECG	115,0	100,0	85,0	115,0	100,0	85,0	0,8	1,0	1,2	70,0	1000,0	6000,0			
ECH	115,0	100,0	85,0	115,0	100,0	85,0	0,8	1,0	1,2	100,0	700,0	2000,0			
CHM	0,110	0,100	0,090	0,110	0,100	0,090	2,0	3,0	3,5	15,0	40,0	140,0			
EDM	0,160	0,150	0,140	0,060	0,050	0,040	25,0	30,0	35,0	100,0	800,0	1300,0			
WEDM	0,120	0,110	0,100	0,160	0,150	0,140	0,8	1,0	1,2	95,0	250,0	300,0			
EBM	0,100	0,040	0,035	0,100	0,040	0,035	12,0	15,0	18,0	0,3	2,0	6,0			
LBM	0,060	0,050	0,040	0,110	0,100	0,090	17,0	20,0	23,0	0,1	2,0	5,0			
PAM	2,200	2,00	1,800	2,200	2,00	1,800	8,00	10,00	12,00	20000	50000	75000			

Tablo 5. Nitel kriter performansların gösteriminde kullanılan ölçek [23] (Scale for representation of Qualitative criteria performances)

	<i>İfadesel Ölçek</i>	<i>Hwan-Young</i>	<i>Tam Sayı Ölçek</i>	<i>Üçgen Bulanık Ölçek</i>	<i>Trapez Bulanık Ölçek</i>
En Düşük	ED	1	(1,1,1,1)	(1, 1, 2)	(1, 1, 1, 2)
Çok Düşük	ÇD	2	(2,2,2,2)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3, 4)
Düşük	D	3	(3,3,3,3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4, 5)
Biraz Düşük	BD	4	(4,4,4,4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5, 6)
Orta Altı	OA	5	(5,5,5,5)	(4, 5, 6)	(4, 5, 6, 7)
Orta	O	6	(6,6,6,6)	(5, 6, 7)	(5, 6, 7, 8)
Orta Üstü	OÜ	7	(7,7,7,7)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8, 9)
Yüksek	Y	8	(8,8,8,8)	(7, 8, 9)	(7, 8, 9, 10)
Çok Yüksek	ÇY	9	(9,9,9,9)	(8, 9, 10)	(8, 9, 10, 10)
Mükemmel	M	10	(10,10,10,10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10, 10)

Tablo 6. Maliyet Kriterleri Performans tablosu (Cost Criteria Performance Chart)

Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik			
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	
Proses																
AJM	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	1,0	2,0	3,0	3,0	4,0	5,0	
WJM	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	3,0	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	
AWJM	3,0	4,0	5,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	1,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	
USM	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	5,0	6,0	7,0	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0	
RUSM	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	6,0	7,0	8,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	
ECM	8,0	9,0	10,0	7,0	8,0	9,0	2,0	3,0	4,0	8,0	9,0	10,0	6,0	7,0	8,0	
ECG	7,0	8,0	9,0	6,0	7,0	8,0	3,0	4,0	5,0	8,0	9,0	10,0	5,0	6,0	7,0	
ECH	7,0	8,0	9,0	6,0	7,0	8,0	3,0	4,0	5,0	8,0	9,0	10,0	5,0	6,0	7,0	
CHM	5,0	6,0	7,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0	3,0	6,0	7,0	8,0	2,0	3,0	4,0	
EDM	7,0	8,0	9,0	8,0	9,0	10,0	8,0	9,0	10,0	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	
WEDM	7,0	8,0	9,0	2,0	3,0	4,0	8,0	9,0	10,0	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	
EBM	8,0	9,0	10,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	7,0	8,0	9,0	
LBM	7,0	8,0	9,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	7,0	8,0	9,0	
PAM	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0	3,0	

subjektif, sözel değerlendirmelerin kesin, üçgen ve trapez bulanık sayı karşılıklarını içermektedir. Çalışmada bu ölçekte yer alan üçgen bulanık sayılar esas alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Alternatif proseslerin değerlendirilmesinde kullanılan maliyet kriterleri, sözel değişkenlerle ifade edilmiştir. Alternatif proseslerin maliyet kriterleri (yatırım, takım/fikstür, takım/fikstür aşınması, işçilik, güç tüketimi) ve iş parçası malzemesinin prosese uygunluğu kriteri, performanslarının gösterilmesinde Tablo 5’de sunulan ölçek esas alınmıştır. Tablo 5’de sunulan ölçeğe göre hazırlanan AİY seçimi problemi için esas alınan maliyet kriterlerinin, alışılmamış imalat prosesine göre performans değerleri Tablo 6’da sunulmaktadır. Tablo 6’da sunulan değerler deneyimli uzman görüşleri alınarak belirlenmiştir.

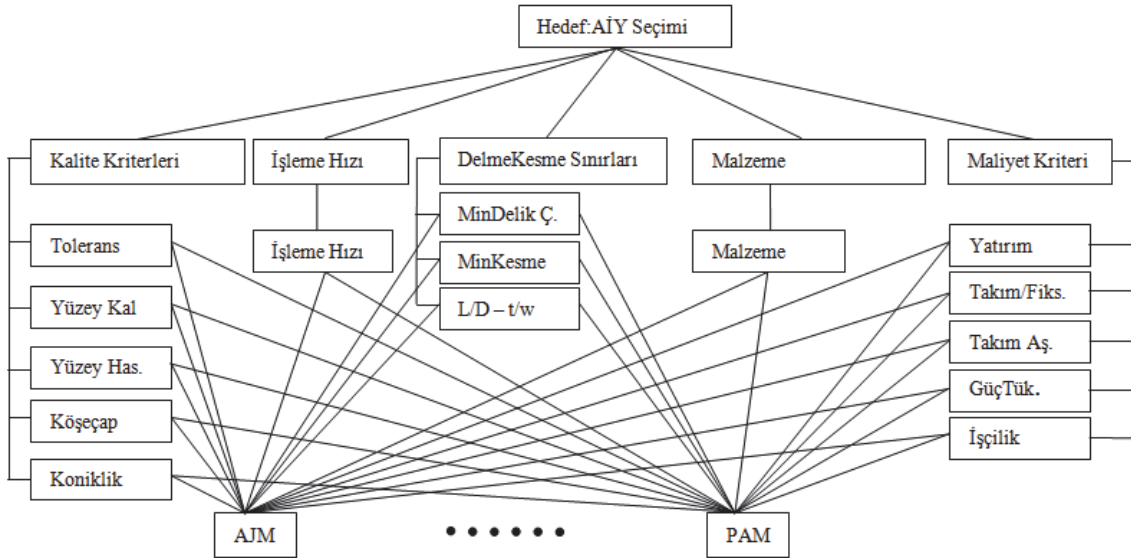
AİY farklı malzemeler için farklı uygunluk derecelerine sahiptir. Bu nedenle Tablo 4’de verilen bulanık ölçek kullanılarak alternatif alışılmamış imalat proseslerinin farklı malzemeler için uygunluğu derecelendirilerek Tablo 7 oluşturulmuştur. Tablo 7 büyük oranda Çoğun [21], Machining Data Handbook [22], Youssef ve El-Hofy [19] yapılan çalışmalardan derlenen bilgilerle oluşturulmuştur.

Çalışmada 15 kriter esas alınmıştır. Ancak karar sürecinin yapısı gereği tüm kriterler, karar verici için

eşit öneme sahip değildir. Kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde en yaygın ve en bilinen metotlardan biri olan AHP yönteminin bulanık küme teorisi ile birleştirilmesi ile oluşturulan Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. BAHF, kriter ağırlıklarının belirlenmesi konusunda oldukça etkin bir metot sunmakla birlikte AHP kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kriter sayısının 5-9 arasında tutulması önerilmektedir. Bu nedenle AİY’nin Bulanık AHP ile değerlendirilmesi çalışması için öncelikle değerlendirme kriterleri için hiyerarşik yapı kurulmuştur. Kurulan hiyerarşik yapı ile değerlendirmede kullanılan 15 kriter 5 ana kriter altında Şekil 1’de gösterildiği gibi düzenlenmiştir. Ana kriter ve alt kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Chang Mertebe Analizi yöntemi kullanılmıştır [24]. Yöntemin kullanımı için MS Excel üzerinde karar matrislerinin oluşturulması sağlayan bir program yazılmıştır. Programda kullanıcı Tablo 8’de verilen ölçeğe göre ana ve alt kriterler için ikili karşılaştırma matrislerini doldurduğunda program kriter ağırlığını otomatik olarak hesaplamaktadır. Çalışma için oluşturulan ana ve alt kriter ağırlıkları ikili karşılaştırma matrisleri Tablo 9, 10, 11 ve 12’de sunulmuştur. Çalışma kapsamında ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranı, CR (Consistency Ratio), 0,1’den küçük olarak hesaplandığından BAHF yöntemi sağlıklı bir şekilde kullanılabilmiştir.

Tablo 7. Malzeme Uygunluğu Performans Tablosu (Material Compatibility Performance)

Malzeme	Aluminyum			Çelik			Süper Alaşım			Titanyum		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
AJM	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
WJM	5,00	6,00	7,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00
AWJM	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
USM	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
RUSM	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
ECM	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
ECG	2,00	3,00	4,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
ECH	2,00	3,00	4,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
CHM	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00
EDM	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00
WEDM	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00
EBM	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00
LBM	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00	5,00	6,00	7,00
PAM	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
Malzeme	Refrakter			Plastik			Seramik			Cam		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
AJM	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00
WJM	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00
AWJM	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00
USM	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00
RUSM	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	8,00	9,00	10,00
ECM	5,00	6,00	7,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECG	8,00	9,00	10,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECH	8,00	9,00	10,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHM	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
EDM	8,00	9,00	10,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WEDM	8,00	9,00	10,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBM	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
LBM	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	5,00	6,00	7,00
PAM	2,00	3,00	4,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Şekil 1.** AİY Seçim Problemi Karar Hiyerarşisi (Decision Hierarchy of NMM Selection Problem)**Tablo 8.** Kriterlerin karşılaştırılmasından kullanılan sözel değişkenler (Linguistic variables used in Criteria comparison)

Sözel Değişken	Bulanık Ölçek (l, m, u)	Karşılık Ölçek (1/u, 1/m, 1/l)
Eşit Derecede Önem	(1, 1, 1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Orta Derecede Önem	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Kuvvetli Derecede Önem	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok Kuvvetli Derecede Önem	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Mutlak Derecede Önem	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)

Tablo 9. Ana kriter ikili karşılaştırma tablosu (Main criterion binary comparison chart)

	Kalite	Maliyet	İşleme Zamanı	Delme-Kesme	Malzeme
Kalite	(1, 1, 1)	(0,2, 0,33, 1)	(0,33, 0,5, 1)	(1, 3, 5)	(1, 2, 2)
Maliyet	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Zaman	(1, 2, 3)	(0,2, 0,33, 1)	(1, 1, 1)	(1,5, 3,5, 5,5)	(1, 2, 2)
Delme-Kesme	(0,2, 0,33, 1)	(0,14, 0,2, 0,33)	(0,18, 0,29, 0,67)	(1, 1, 1)	(0,2, 0,33, 1)
Malzeme	(0,5, 0,5, 1)	(0,2, 0,33, 1)	(0,5, 0,5, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)

Tablo 10. Kalite ana kriteri, alt kriter karşılaştırma tablosu (Quality: main criterion- subcriteria binary comparison chart)

	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Min Köşe Yarıçap	Koniklik
Tolerans	(1, 1, 1)	(1, 2,5, 4)	(1, 3, 5)	(2, 4, 6)	(1,5, 3,5, 5,5)
Yüzey Kalitesi	(0,25, 0,4, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1,5, 3,5, 5,5)	(1, 3, 5)
Yüzey Hasarla	(0,2, 0,33, 1)	(0,2, 0,33, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 2, 3)
MinKöşeYarıç	(0,17, 0,25, 0,50)	(0,18, 0,29, 0,67)	(0,2, 0,33, 1)	(1, 1, 1)	(0,33, 0,5, 1)
Koniklik	(0,18, 0,29, 0,67)	(0,2, 0,33, 0,67)	(0,33, 0,5, 1)	(1, 2, 3)	(1, 1, 1)

Tablo 11. Maliyet ana kriteri, alt kriter karşılaştırma tablosu (Cost: main criterion- subcriteria binary comparison chart)

	Yatırım	Takım/Fikstür	Takım Aşım.	Güç Tüketimi	İşçilik
Yatırım	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(2, 4, 6)	(3, 5, 7)
Takım/Fikstür	(0,2, 0,33, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 2)	(1, 3, 5)	(1,5, 3,5, 5,5)
Takım Aşınması	(0,2, 0,33, 1)	(0,5, 0,5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 3, 5)
Güç Tüketimi	(0,17, 0,25, 0,50)	(0,2, 0,33, 1)	(0,33, 0,5, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)
İşçilik	(0,14, 0,20, 0,33)	(0,18, 0,29, 0,67)	(0,2, 0,33, 1)	(0,2, 0,33, 1)	(1, 1, 1)

Tablo 12. Delme Kesme Sınırları ana kriteri, alt kriter karşılaştırma tablosu (Drilling and Cutting Boundaries: main criterion- subcriteria binary comparison chart)

	Min Delik Çapı	Min Kes. Kal.	L/D ve t/w oranı
Min Delik Çapı	(1, 1, 1)	(1, 1,5, 2)	(1, 3, 5)
Min Kesme Kalınlığı	(0,5, 0,67, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)
L/D ve t/w oranı	(0,2, 0,33, 1)	(0,2, 0,33, 1)	(1, 1, 1)

Çalışmanın bu bölümünde sadece ana kriter ağırlıklarının hesaplanması gösterilmiştir. Alt kriter ağırlıkları da hazırlanan yazılım tarafından aynı metot ile hesaplanmaktadır.

Eşitlik 1, Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 yardımı ile bulanık büyüklük değerleri hesaplanır.

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

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (3)$$

Eşitlik 4 ve 5 kullanılarak bulanık büyüklük değerleri karşılaştırılır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{yükseklik}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) \quad (4)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5)$$

Elde edilen bu bulanık büyüklük karşılaştırmalarından Eşitlik 6 kullanılarak aşağıdaki öncelik değerleri elde edilir:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad k = 1, 2, \dots, n; k \neq j \quad (6)$$

$$d'(AK_1) = \min (0,637, 0,888, 1, 1) = 0,637 \quad d'(AK_2) = \min (1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(AK_3) = \min (1, 0,756, 1, 1) = 0,756 \quad d'(AK_4) = \min (0,529, 0,190, 0,403, 0,633) = 0,190$$

$$d'(AK_5) = \min (0,908, 0,563, 0,800, 1) = 0,563$$

Yukarıdaki değerler kullanılarak öncelik vektörü aşağıdaki gibi elde edilir:

$$W' = (0,637, 1, 0,756, 0,190, 0,563)$$

Öncelik vektörünün normalizasyonu sonucu elde edilen ana kriterler ağırlıklarını (kalite, maliyet,

Tablo 13. Kriter ağırlıkları tablosu (Criteria weights Chart)

Ana Kriter	KALİTE					MALİYET					DELME KESME SINIRLARI			İŞL. HIZ	MALZ.
Ağırl.	0,20					0,32					0,06			0,24	0,18
Alt Kriter	Tolerans	Yüz Kal.	Yüz Has	Köş Yc.	Konik	Yatırım	Tak./ Fiks.	Takım Aşın.	Güç Tük.	İşçilik	Delik Çapı	KesKal.	L/D - t/w or.	İşl Hız	Malz.
Ağırl.	0,30	0,27	0,21	0,08	0,14	0,32	0,26	0,21	0,16	0,05	0,42	0,39	0,19	1,00	1,00

Tablo 14. Ağırlık vektörü (Weight vector)

Alt Kriter	Tolerans	Yüz Kal.	Yüz Has	Köş Yc.	Konik	Yatırım	Tak./ Fiks.	Takım Aşın.	Güç Tük.	İşçilik	Delik Çapı	KesKal.	L/D - t/w or.	İşl Hız	Malz.
Ağırl.	0,061	0,055	0,043	0,016	0,028	0,104	0,082	0,066	0,053	0,012	0,025	0,023	0,011	0,240	0,179

işleme hızı, delme-kesme sınırları, malzeme) gösteren vektör aşağıdaki gibidir:

$$W = (0,20, 0,32, 0,24, 0,06, 0,18)$$

Aynı metot kullanılarak elde edilen alt kriter öncelikleri ise aşağıdaki gibidir:

- Kalite alt kriterleri (tolerans, yüzey kalitesi, yüzey hasarlama, min köşe yarıçap, koniklik) öncelik vektörü $W = (0,30, 0,27, 0,21, 0,08, 0,14)$
- Maliyet alt kriterleri (yatırım, takım/fikstür, takım/fikstür aşınması, güç tüketimi, işçilik) öncelik vektörü $W = (0,32, 0,26, 0,21, 0,16, 0,05)$
- Delme kesme sınırları alt kriterleri (yatırım, takım/fikstür, takım/fikstür aşınması, güç tüketimi, işçilik) öncelik vektörü $W = (0,42, 0,39, 0,19)$ şeklindedir.

Elde edilen öncelik vektörleri karar hiyerarşisine uygun olarak Tablo 13'de gösterilmiştir. Ancak bu değerler bu çalışma için alınan değerlerdir. İkili karşılaştırma matrisleri bir Excel programı olarak hazırlanmış olup kullanıcı tercihlerine göre kriter ağırlıkları kolayca değiştirilebilmektedir. Şekil 1'de sunulan hiyerarşik yapıya uygun olarak kriter ve alt kriter ağırlıkları çarpıldığında elde edilen ağırlık vektörü Tablo 14'de sunulmuştur ve çalışma kapsamındaki tüm vakalar için aynı ağırlıklar kullanılmıştır.

4. BTOPSIS MODELİNİN VAKA ÇALIŞMALARINA UYGULANMASI (IMPLEMENTATION OF BTOPSIS MODEL FOR CASE STUDIES)

Çalışmada üç farklı BTOPSIS metodolojisi kullanılmıştır: Chen [24] tarafından geliştirilmiş olan pozitif ve negatif ideal çözümlerin (1, 1, 1) ve (0, 0, 0) olarak öngörüldüğü uzaklıkların verteks yöntemi ile hesaplandığı Bulanık TOPSIS yaklaşımı, Lee'nin [25] genelleştirilmiş ortalama hesabı ile bulanık değerlerin karşılaştırıldığı BTOPSIS yaklaşımı ve Alan merkezi yöntemi ile kriterlerin en iyi bulanık olmayan

performans değerlerine göre kriter performanslarının hesaplandığı BTOPSIS yaklaşımı. Söz konusu yöntemler literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan vakalara uygulanmıştır. Vaka çalışmalarında elde edilen kriter ağırlıkları literatürdeki çalışmalarda elde edilen sıralamaları tekrar değerlendirmek için kullanılmış, karşılaştırmalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. Vaka Çalışması 1 (Case Study 1)

HRC 35 sertliğe sahip süper alaşımdan imal edilmiş olan türbin motor yanma odası kapağının delinmesi için EBM yöntemi kullanılmaktadır. Prosesle ilgili gereklilikler aşağıdadır:

İş malzemesi: Süperalaşım, Şekilsel Yeterlilik: Delik delme Proses Yeterlilik

$$\text{Çap } D = 0,9\text{mm Tolerans } 0,05\text{mm } L/D = 1,22$$

Yurdakul ve Coğun [18] tarafından yapılan çalışmada işleme hızının göreceli yüksek öneme paralel olarak sıralamada ilk sırayı ECM almış, onu sırası ile LBM, EBM, CHM, AJM, USM ve EDM takip etmiştir. BTOPSIS yaklaşımları ile elde edilen sıralama ise Tablo 15, Tablo 16 ve Tablo 17'de sunulmuştur.

4.2. Vaka Çalışması 2 (Case Study 2)

Otomotiv endüstrisinde halen hassas enjektör deliklerin delinmesi için EDM proses kullanılmaktadır. Değişken sayıda delik hassas bir yapıda enjektörün ucuna delinir. 800 delik delinmesini gerektiren bir uygulama için proses gereksinimleri aşağıdadır:

İş malzemesi: Çelik 51000 (HRC 65), Şekilsel yeterlilik: Delik delme

$$\text{Proses yeterlilik: } D = 0,175\text{mm, tolerans} = 0,025\text{mm, } L/D = 5,7$$

Tablo 15. Vaka 1 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu) (Case 1: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Chen method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	14,628	0,391	0,02603	2
AWJM	14,634	0,381	0,02540	3
USM	14,723	0,292	0,01943	9
RUSM	14,713	0,302	0,02014	8
ECM	14,590	0,477	0,03163	1
CHM	14,700	0,317	0,02114	7
EDM	14,674	0,346	0,02303	4
EBM	14,683	0,336	0,02235	6
LBM	14,677	0,344	0,02289	5

Tablo 16. Vaka 1 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama) (Case 1: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (generalized mean)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	0,263	0,255	0,49224	2
AWJM	0,270	0,247	0,47818	3
USM	0,357	0,160	0,30938	8
RUSM	0,357	0,160	0,30927	9
ECM	0,220	0,298	0,57560	1
CHM	0,334	0,183	0,35444	7
EDM	0,310	0,207	0,40015	4
EBM	0,318	0,199	0,38530	6
LBM	0,312	0,206	0,39779	5

Tablo 17. Vaka 1 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu) (Case 1: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Best non-fuzzy performance method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	0,253	0,156	0,38222	3
AWJM	0,220	0,148	0,40169	2
USM	0,249	0,089	0,26432	9
RUSM	0,245	0,092	0,27360	7
ECM	0,130	0,275	0,67852	1
CHM	0,268	0,098	0,26781	8
EDM	0,249	0,131	0,34417	4
EBM	0,270	0,111	0,29105	6
LBM	0,268	0,116	0,30237	5

Yurdakul ve Coğun [15] tarafından yapılan çalışmada sıralama EDM, USM, LBM ve EBM şeklindedir. BTOPSIS yaklaşımı ile elde edilen sıralama ise Tablo 18, 19 ve 20'dedir.

4.3. Vaka Çalışması 3 (Case study 3)

Elektro-kimyasal işleme kapalı (kör) boşluklardaki çoklu ceplerin eş zamanlı olarak işlenmesinde kullanılmaktadır. Örnek parça elektrokimyasal işleme ile sertleştirilmiş yüzeyde işlenmiş 16 adet eşit olarak boşluklandırılmış cep içermektedir. Tüm cepler talaşsız olarak ECM ile 6 dakikadan daha kısa bir sürede işlenmektedir. Malzemenin 4140 çelik olduğu farzedilmektedir. Proses gereksinimleri şu şekildedir: İş malzemesi: Çelik 4140, Şekilsel yeterlilik: Cep işleme Proses yeterlilik: tolerans = 0,13mm, t/w = 3,86

Literatürde uygulanan çözüm elektro kimyasal işlemedir. Yurdakul ve Coğun [18] tarafından yapılan sıralama ise ECM, AJM ve EDM şeklindedir. BTOPSIS yaklaşımı ile elde edilen sıralama ise Tablo 21, 22 ve 23'de sunulmuştur.

4.4. Vaka Çalışması 4 (Case study 4)

Rutan tarafından raporlanan bilgilere göre özel USM takımları hassas yapılarıdaki çoklu deliklerin eşzamanlı olarak delinmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. 0,64 mm kalınlıkta, yalıtkan, seramik malzeme (alüminyum oksit) elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. USM, 0,64mm çapında 930 ve 1,53 mm çapında 30 deliğin eşzamanlı olarak delinmesinde kullanılır. Tüm operasyon paslanmaz çelik hipodermik takım ve 320grit boron karbür aşındırıcı kullanılarak 8,5 dakika sürmektedir

Tablo 18. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu) (Case 2: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Chen method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
RUSM	14,493	0,551	0,03661	1
EDM	14,569	0,468	0,03115	2
EBM	14,648	0,371	0,02469	4
LBM	14,643	0,378	0,02520	3

Tablo 19. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama) (Case 2: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (generalized mean)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
RUSM	0,162	0,266	0,622	1
EDM	0,232	0,196	0,457	2
EBM	0,312	0,116	0,271	4
LBM	0,307	0,121	0,283	3

Tablo 20. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu) (Case 2: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Best non-fuzzy performance method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
RUSM	0,099	0,257	0,72100	1
EDM	0,149	0,165	0,52423	2
EBM	0,261	0,090	0,25649	4
LBM	0,259	0,091	0,25946	3

Tablo 21. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu) (Case 3: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Chen method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	14,639	0,382	0,02541	3
RUSM	14,633	0,382	0,02543	2
ECM	14,554	0,513	0,03407	1

Tablo 22. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama) (Case 3: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (generalized mean)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	0,281	0,146	0,34258	2
RUSM	0,285	0,143	0,33424	3
ECM	0,191	0,236	0,55245	1
EDM	0,298	0,130	0,30310	4

Tablo 23. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu) (Case 3: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Best non-fuzzy performance method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	0,255	0,110	0,30046	3
RUSM	0,217	0,093	0,30072	2
ECM	0,121	0,251	0,67572	1
EDM	0,244	0,074	0,23282	4

[18]. İş malzemesi: Seramik Şekilsel yeterlilik: Delik delme Proses yeterlilik: $D = 0,64\text{mm}$, $L/D = 5,7\text{mm}$ Literatürde karşılaşılan vaka için USM kullanılmıştır. Yurdakul ve Coğun [18] tarafından yapılan çalışmada

ise sıralama USM, LBM, EBM, CHM ve AJM şeklindedir. BTOPSIS yaklaşımı ile elde edilen sıralama ise Tablo 24, 25 ve 26'da sunulmuştur.

Tablo 24. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu) (Case 4: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Chen method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	0,239	0,156	0,39435	4
AWJM	0,107	0,239	0,69146	3
USM	0,102	0,245	0,70660	2
RUSM	0,102	0,278	0,73111	1
CHM	0,279	0,073	0,20763	7
EBM	0,263	0,147	0,35857	6
LBM	0,261	0,151	0,36561	5

Tablo 25. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama) (Case 4: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (generalized mean)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	0,278	0,263	0,486	4
AWJM	0,207	0,334	0,617	3
USM	0,187	0,354	0,655	2
RUSM	0,170	0,370	0,685	1
CHM	0,416	0,124	0,230	7
EBM	0,295	0,245	0,453	6
LBM	0,291	0,250	0,462	5

Tablo 26. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu) (Case 4: Coefficient of total distance from fuzzy positive- negative ideal solution) (Best non-fuzzy performance method)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı S- /[(S+)+(S-)]	Sıralama
AJM	14,609	0,412	0,02746	4
AWJM	14,540	0,500	0,03322	3
USM	14,521	0,518	0,03447	2
RUSM	14,495	0,546	0,03631	1
CHM	14,748	0,272	0,01811	7
EBM	14,626	0,392	0,02612	6
LBM	14,622	0,399	0,02654	5

Tablo 27. Vaka 1 için sıralama sonuçları (Ranking results for Case 1)

Alternatif	Yurdakul-Cogun [18]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP'ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ort. dayalı BTOPSIS	BTOPSIS- Chen Metodu
AJM	5	2	4	3	2	2
AWJM	*	3	2	2	3	3
USM	6	5	6	9	8	9
RUSM	*	4	5	7	9	8
ECM	1	1	1	1	1	1
CHM	4	9	9	8	7	7
EDM	7	6	3	4	4	4
EBM	3	8	8	6	6	6
LBM	2	7	7	5	5	5

* AWJM ve RUSM prosesleri Yurdakul ve Coğun [18] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir.

5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ (DISCUSSION OF RESULTS)

Bulanıklığın ağırlık vektörüne etkisini görmek amacıyla BAHP ile kriter ağırlıklarının yanısıra BAHP ile ağırlık vektörünün hesaplanmasında kullanılan ikili karşılaştırma matrislerini oluşturan (l, m, u) formatındaki üçgen bulanık sayılar yerine sadece bu bulanık sayıların m değerleri kullanılarak AHP ile ağırlık değerleri tekrar hesaplanmıştır.

AHP ve BAHP ile elde edilmiş ağırlık değerleri Tablo 27'de sunulmuştur. Tablo 27'de görüldüğü üzere 6 kriter için sıralama değişmemiştir. 6 kriter içinse sıralama sadece ± 1 sıra değişmiştir. Tablo 27 değerleri dikkate alındığında AHP ve BAHP'nin kullanıcı tercihlerinin yansıtılması konusunda çok farklı olmadığı görülmektedir.

Ancak ardışık sıralamalara sahip kriterlerin ağırlık değerleri arasındaki farklılık incelendiğinde AHP için ağırlık vektörü değerine göre sıralı kriterlerin ağırlık

vektörleri arasındaki en yüksek fark 2. Sıradaki yatırım ile 3. Sıradaki malzeme kriteri arasındaki 0,0627 birim farktır. En düşük fark ise 10. Sıradaki yüzey hasarlar ve 11. Sıradaki işçilik kriterleri arasındaki 0,0001 birim farktır. Aynı durum BAHP için incelendiğinde ise en yüksek fark 2. Sıradaki malzeme ile 3. Sıradaki yatırım kriteri arasındaki 0,0745 birim fark, en düşük fark ise 11. Sıradaki minimum delik çapı ve 12. Sıradaki minimum kesme kalınlığı arasındaki 0,002 birim farktır. Bu değerler incelendiğinde BAHP ve AHP sıralamaları arasında çok büyük farklar olmasa da kullanıcı tercihlerinin yansıtılması konusunda BAHP'nin daha açık sonuçlar verdiği görülmektedir. AHP ve BAHP metodları kullanılarak elde edilen kriter ağırlıklarını takiben farklı TOPSIS yaklaşımları kullanılarak farklı vakalar için en uygun alternatif seçimleri yapılmıştır. Önceki bölümde BTOPSIS yaklaşımlarının vakalar nasıl uygulandığı detaylı olarak gösterilmiştir. Bu bölümde ise BTOPSIS yaklaşımlarının yanı sıra klasik TOPSIS yaklaşımı ile de elde edilen sonuçlar tablolarda gösterilmiştir.

Vaka 1 için elde edilen sıralama sonuçları Tablo 27'dedir. Tablo incelendiğinde farklı BTOPSIS metodolojileri kullanılarak elde edilen sonuçların oldukça benzer olduğu ancak BTOPSIS ile TOPSIS sonuçları arasında daha yüksek bir fark bulunduğu gözlenmektedir.

Vaka 2 için elde edilen sıralama sonuçları Tablo 28'de sunulmuştur. Bu vakada alternatif sayısının az olması ve alternatif proseslerin oldukça farklı karakteristiklere sahip olmasının etkisi ile tüm sıralama metodolojileri için yakın ve literatüre benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Vaka 3 için elde edilen sıralama sonuçları Tablo 29'da sunulmuştur. Vaka 3 de olduğu gibi literatüre ve yöntemler arası sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu bir tablo edilmiştir.

Vaka 4 için elde edilen sıralama sonuçları ise Tablo 30'de sunulmuştur. Sonuçlar farklı BTOPSIS metodolojileri ve TOPSIS yaklaşımı için aynıdır. Vakanın ilk olarak incelendiği Yurdakul ve Coğun [15] çalışmasındaki sıralamadaki temel fark ise yatırım maliyeti ve işçilik unsurlarının bu çalışmada değerlendirmeye alınmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada BTOPSIS yaklaşımı olarak kullanılan 3 farklı yaklaşım için bulanık sayılardan kesin sayılara geçilen durulaştırma noktası farklıdır. En iyi bulanık olmayan performans (BNP) değerine dayalı BTOPSIS yaklaşımında durulaştırma normalize matris öncesi alan merkezi yöntemi kullanılarak karar tablosunun durulaştırılması ile elde edilmektedir. Genelleştirilmiş ortalamaya dayalı BTOPSIS yaklaşımında ağırlıklı

Tablo 28. Vaka 2 için sıralama sonuçları (Ranking results for Case 2)

Alternatif	Yurdakul-Cogun [18]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP'ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ort. dayalı BTOPSIS	BTOPSIS- Chen Metodu
USM	2	**	**	**	**	**
RUSM	*	1	1	1	1	1
EDM	1	2	2	2	2	2
EBM	4	4	3	4	4	4
LBM	3	3	4	3	3	3

* RUSM prosesi Yurdakul ve Coğun [18] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir.

** Vaka 3 için L/D oranı 5,7'dir. Tez çalışmasında USM için L/D oranının en yüksek 3 olarak öngörülmesi nedeniyle Vaka 3 için USM alternatif kümesi dışındadır.

Tablo 29. Vaka 3 için sıralama sonuçları (Ranking results for Case 3)

Alternatif	Yurdakul-Cogun [18]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP'ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ort. dayalı BTOPSIS	BTOPSIS- Chen Metodu
AJM	2	2	4	3	2	3
RUSM	*	3	2	2	3	2
ECM	1	1	1	1	1	1
EDM	3	4	3	4	4	4

* RUSM prosesi Yurdakul ve Coğun [18] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir.

Tablo 30. Vaka 4 için sıralama sonuçları (Ranking results for Case 4)

Alternatif	Yurdakul-Cogun [18]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP'ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ortalamaya dayalı BTOPSIS	BTOPSIS- Chen Metodu
AJM	5	4	4	4	4	4
AWJM	*	3	3	3	3	3
USM	1	2	2	2	2	2
RUSM	*	1	1	1	1	1
CHM	4	7	7	7	7	7
EBM	3	6	6	6	6	6
LBM	2	5	5	5	5	5

* AWJM ve RUSM prosesleri Yurdakul ve Coğun [18] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir

normalize matris oluşturulduktan sonra genelleştirilmiş ortalama değerleri hesaplanarak durulaştırma yapılmaktadır. Chen'in BTOPSIS yaklaşımında ise durulaştırma pozitif ve negatif ideal çözüm kümesinde uzaklıkların hesaplanması esnasında sağlanmaktadır. Bu çalışmada üç farklı yöntemde elde edilen sıralama değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür. AHP ve BAHP yaklaşımı ile elde edilen ağırlık değerleri birbirine oldukça yakındır. Ancak bu ağırlık değerlerinin TOPSIS'de kullanılması sonucu elde edilen sıralama farklı BTOPSIS metodolojilerinin aynı ağırlık değerleri ile uygulanması sonucu elde edilen sıralamadan daha fazla bir fark ortaya koymaktadır. Bu durum kriter ağırlıklarının sıralama üzerinde çok önemli bir etkisi olduğunu açıkça göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR (CONCLUSION AND FUTURE STUDIES)

Çalışmada AİY hakkında bilgi verilmiş ve seçimleri konusunda bulanıklığın da dahil edildiği seçim yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Uygulamalar sonucunda bulanıklığın ve farklı seçim yaklaşımlarından ziyade ikili karşılaştırmalar yoluyla yapılan ağırlıklandırmanın daha önemli olduğu ortaya çıkmıştır. AİY arasında seçim yapacak bir imalatçının yöntem yerine yöntemi uygulanma şekline dikkat etmesi daha önemlidir. Yöntemin her aşaması firma içinde bilgi ve tecrübe birikimini kullanan bir uzman grup tarafından uygulanmalıdır. Özellikle kriterlerin seçiminin ve ikili karşılaştırmalarının sonuçlara direkt etkisi olduğundan dolayı bu aşamalarda azami dikkat gösterilmelidir. Uygulamalar sonucu ortaya çıkan bir diğer sonuçta Bulanık TOPSIS ten ziyade Bulanık AHP aşamasının çok daha önemli olduğudur.

Sonuç olarak, yapılan çalışma ile AİY seçim probleminde bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması, bulanık ve bulanık olmayan çok kriterli karar verme yöntemleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve en uygun seçim yönteminin karar verilmesi konularında literatüre katkı sağlandığı düşünülmektedir. İlerideki çalışmalarda AHP ve TOPSIS yerine diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile seçim yapılabilir ve yeni AİY yöntemleri alternatif kümesine eklenebilir. Yapılacak uygulamalarda kriter seçimi ve ağırlıklandırmanın önemi detaylı olarak ele alınmalıdır. Prosesin uygulanması esnasında kriter performanslarında ortaya çıkan değişim etkin şekilde karar modeline dahil edilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Rajurkar, K.P. ve Ross, R.F., "The role of nontraditional manufacturing processes in future manufacturing industries", **ASME Manufacturing International**, 23-37, 1992.

2. Yao, Y. L., Cheng, J. G., Rajurkar, K. P., Kovacevic, R., Feiner, S., Zhang, W., "Combined research and curriculum development of nontraditional manufacturing", **European Journal of Engineering Education**, Cilt 30, No 3, 363-376, 2005.
3. Aouam, T., Chang, S.I., Lee, E. S., "Fuzzy MADM: An outranking method", **European Journal of Operational Research**, Cilt 145, No 2, 317-328, 2003.
4. Karakaşoğlu, N., "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, Denizli, 1-7, 2008.
5. Chakraborty, S. ve Dey, S., "Design of an analytic-hierarchy-process-based expert system for non-traditional machining process selection", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 31, No 5-6, 490-500, 1977.
6. Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M., "İş Değerlendirme, Faktör Derece Puanlarının Belirlenmesinde Hedef Programlama Yönteminin Kullanılması", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 19 No 1, 89-95, 2004.
7. Chakraborty, S. ve Dey, S., "QFD-based expert system for non-traditional machining processes selection", **Expert Systems with Applications**, Cilt 32, No 4, 1208-1217, 2007.
8. Chakladar, N. D. ve Chakraborty, S., "A combined TOPSIS-AHP-method-based approach for non-traditional machining processes selection", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers--Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Cilt 222, 1613-1623, 2008.
9. Krohling R. A. ve Campanharo V. C., "Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea", **Expert Systems with Applications**, Cilt 38, No 4, 4190-4197, 2011.
10. Aydoğan E. K., "Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment", **Expert Systems with Applications**, Cilt 38, No 4, 3992-3998, 2011.
11. Kaya T. ve Kahraman C., "An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment", **Expert Systems with Applications**, Cilt 38, No 7, 8553-8562, 2011.
12. Chakladar, N. D., Das, R., Chakraborty, S., "A digraph-based expert system for non-traditional machining processes selection", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 43, No 3-4, 226-237, 2009.
13. Das, S. ve Chakraborty, S., "Selection of non-traditional machining processes using analytic

- network process", **Journal of Manufacturing Systems**, Cilt 30, No 1, 41-53, 2011.
14. Kahraman C., "Multi-Criteria Decision Making Methods and Fuzzy Sets", *Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Theory and Applications with Recent Developments*, Springer, New York, 1-20, 2008.
 15. Bellman, R. E. ve Zadeh. L. A., "Decision-making in a fuzzy environment." **Management Science**, Cilt 17, No 4, 141- 164, 1970.
 16. Zimmermann H. J. ve Zysno P., "Quantifying vagueness in decision models", **European Journal of Operational Research**, Cilt 22, No 2, 148-158, 1985.
 17. Duran, O. ve Aguilo, J., "Computer-aided machine-tool selection based on a fuzzy-AHP approach", **Expert Systems with Applications**, Cilt 34, No 3, 1787-1794, 2007.
 18. Yurdakul, M. ve Cogun, C., "Development of a multi-attribute selection procedure for non-traditional machining processes", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers--Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Cilt 217, 993-1009, 2003.
 19. Youssef, H.A. ve El-Hofy, H., "Nontraditional Machine Tools and Operations", *Machining Technology Machine Tools and Operations*, **CRC Press Taylor and Francis Group**, Florida, 391-524, 2008.
 20. Chang, D. Y., "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", **European Journal of Operational Research**, Cilt 95, No 3, 649-655, 1996.
 21. Cogun C., "Computer-aided system for selection of nontraditional machining operations", **Computers in Industry**, Cilt 22, No 2, 169-179, 1993.
 22. Machinability Data Center, "Introduction to Nontraditional Machining", *Machining Data Handbook*, 3rd Ed., Cincinnati - Ohio, 9.1-9.5, 1980.
 23. İç Y.T. ve Yurdakul M., "A Decision Support System for Selection of Machining Centers", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 23, No 1, 85-95, 2008.
 24. Chen, T. C., "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", **Fuzzy Sets and Systems**, Cilt 114, No 1, 1-9, 2000.
 25. Lee, S. H., "Using fuzzy AHP to develop intellectual capital evaluation model for assessing their performance contribution in a university", **Expert Systems with Applications**, Cilt 37, No 7, 4941-4947, 2010.

