

**ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİNDE ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME METOTLARININ KULLANILMASI**

Yavuz KUL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2012
ANKARA**

Yavuz Kul tarafından hazırlanan ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METOTLARININ KULLANILMASI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Can ÇOĞUN
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Başkent Ü.

Tarih: 25.01.2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yavuz Kul

**ALİŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİNİN SEÇİMİNDE ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME METOTLARININ KULLANILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Yavuz KUL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2012**

ÖZET

Günümüzde ortaya çıkan yüksek mukavemetli yeni malzemelerin işlenme gereksinimi, çok küçük işleme alanlarında çalışma gerektiren parçaların varlığı, çok hassas ve kırılgan parçaların işlenmesi ihtiyacı ve karmaşık geometrilerin işlenmesinde orta çıkan zorluklar nedeniyle geleneksel imalat yöntemlerinin ötesinde yeni üretim teknolojilerine duyulan ihtiyaç alışılmamış imalat yöntemleri ile giderilmektedir. Ancak birbirinden çok farklı ve sayıları gittikçe artan alışılmamış imalat yöntemleri arasında işlenecek parçaya ve üretim koşullara en uygun olanını seçmek günümüz imalatçıları için oldukça önemli bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasında alışılmamış imalat yöntemlerinin 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 etsi belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 914-1.140
Anahtar Kelimeler : Alışılmamış imalat yöntemlerinin seçimi, çok kriterli karar verme yöntemleri, bulanık AHP, bulanık TOPSIS
Sayfa Adedi : 162
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL

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

(MSc. Thesis)

Yavuz Kul

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

New manufacturing technologies such as nontraditional manufacturing methods were needed recently because of new machining requirements (parts with complex geometries, very small and delicate parts, parts with very narrow machining area and high strength materials). Since nontraditional manufacturing methods are diverse and their numbers are increasing with the development of new approaches, selecting the most appropriate one among many nontraditional manufacturing methods 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 nontraditional manufacturing method for a specific application. In this study, 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.

Science Code : 914-1.140

**Key Words : Selection of nontraditional manufacturing methods, multi
criteria decision making methods, fuzzy AHP, fuzzy TOPSIS**

Page Number: 162

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca her konuda değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren Hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Yurdakul'a, kıymetli görüş, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Hocam Sayın Prof. Dr. Can Çoğun ve Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yusuf Tansel İÇ'e, destek ve hoşgörülerini ile her zaman yanımda olan değerli aileme ve eşim Neslihan KUL'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİ	4
2.1. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması	5
2.2. Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Alışılmamış İmalat Yöntemleri	7
2.2.1. Aşındırıcı jet ile işleme (AJM)	8
2.2.2. Su jeti ile işleme (WJM)	10
2.2.3. Aşındırıcılı su jeti ile işleme (AWJM)	12
2.2.4. Ultrasonik İşleme (USM)	13
2.2.5. Döner ultrasonik işleme (RUSM)	16
2.2.6. Elektro kimyasal işleme (ECM)	17
2.2.7. Elektro kimyasal taşlama (ECG)	19
2.2.8. Elektrokimyasal Honlama (ECH)	20
2.2.9. Elektro erozyon ile işleme (EDM)	21
2.2.10. Tel erozyon ile işleme (WEDM)	22
2.2.11. Kimyasal İşleme (CHM)	23

	Sayfa
2.2.12. Elektron ışını ile işleme (EBM).....	24
2.2.13. Lazer ışını ile işleme (LBM)	26
2.2.14. Plazma ile işleme (PAM)	27
3. KARAR TEORİSİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME.....	29
3.1. Karar Verme.....	29
3.2. Karar Süreci	29
3.3. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV).....	31
3.3.1. ÇKKV metotlarının sınıflandırılması	33
3.3.2. Çoklu fayda teorisi (MAUT).....	34
3.3.3. Hedef programlama (GP).....	35
3.3.4. ELECTRE	35
3.3.5. PROMETHEE	36
3.3.6. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	38
3.3.7. TOPSIS	41
4. BULANIK KÜME TEORİSİ, BULANIK ÇKKV ve LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI	45
4.1. Bulanık Küme Tanımı	45
4.1.1. Bulanık sayılar.....	46
4.1.2. Bulanık sayılarda aritmetik işlemler	47
4.2. Bulanık ÇKKV Metotları.....	48
4.2.1. Bulanık AHP	48
4.2.2. Bulanık TOPSIS	57
4.3. AİY Seçiminde ÇKKV Uygulamaları – Literatür Araştırması.....	71

	Sayfa
5. AİY SEÇİM PROBLEMİ İÇİN BAHF ve BTOPSIS METOTLARININ UYGULANMASI	75
5.1. Alternatif Kümesinin Oluşturulması	76
5.2. Kriter Kümesinin Oluşturulması	75
5.3. Şekilsel Uygulama ve Malzeme Yeterliliklerin Belirlenmesi.....	78
5.4. Karar Matrisinin Oluşturulması	80
5.4.1. Nicel kriter performanslarının belirlenmesi	80
5.4.2. Nitel kriter performanslarının belirlenmesi.....	82
5.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	84
5.6. BTOPSIS Modelinin Vaka Örneklerine Uygulanması.....	91
5.6.1. Vaka Çalışması 1	92
5.6.2. Vaka Çalışması 2	106
5.6.3. Vaka Çalışması 3	108
5.6.4. Vaka Çalışması 4	109
5.6.5. Vaka Çalışması 5	110
6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ	113
7. SONUÇLAR.....	118
KAYNAKLAR.....	127
EKLER.....	128
EK-1 Kriter ağırlıkları hesap tablosu.....	129
EK-2 Vaka 2 karar tablosu	130
EK-3 Vaka 2 normalize matris	131
EK-4 Vaka 2 ağırlıklı normalize matris.....	132
EK-5 Vaka 2 pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklık – Chen metodu.....	133
EK-6 Vaka 2 genelleştirilmiş ortalama, pozitif, negatif çözümünden uzaklıklar	134
EK-7 Vaka 2 karar matrisi (BNP'ye dayalı BTOPSIS)	135
EK-8 Vaka 2 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris	136
EK-9 Vaka 2 BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklıklar.....	137

Sayfa

EK-10 Vaka 3 karar matrisi	138
EK-11 Vaka 3 normalize matris	139
EK-12 Vaka 3 ağırlıklı normalize matris.	140
EK-13 Vaka 3 pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklık – Chen metodu.....	141
EK-14 Vaka 3 genelleştirilmiş ortalama, pozitif, negatif çözümünden uzaklıklar	142
EK-15 Vaka 3 karar matrisi (BNP'ye dayalı dayalı BTOPSIS)	143
EK-16 Vaka 3 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris	144
EK-17 Vaka 3 BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklıklar.....	145
EK-18 Vaka 4 karar matrisi	146
EK-19 Vaka 4 normalize matris	147
EK-20 Vaka 4 ağırlıklı normalize matris.....	148
EK-21 Vaka 4 pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklık – Chen metodu.....	149
EK-22 Vaka 4 genelleştirilmiş ortalama, pozitif, negatif çözümünden uzaklıklar	150
EK-23 Vaka 4 karar matrisi (BNP'ye dayalı BTOPSIS)	151
EK-24 Vaka 4 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris.....	152
EK-25 Vaka 4 BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklıklar.....	153
EK-26 Vaka 5 karar matrisi	154
EK-27 Vaka 5 normalize matris	155
EK-28 Vaka 5 ağırlıklı normalize matris.....	156
EK-29 Vaka 5 pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklık – Chen metodu.....	157
EK-30 Vaka 5 genelleştirilmiş ortalama, pozitif, negatif çözümünden uzaklıklar	158
EK-31 Vaka 5 karar matrisi (BNP'ye dayalı BTOPSIS)	159
EK-32 Vaka 5 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris.....	160
EK-33 Vaka 5 BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklıklar.....	161
ÖZGEÇMİŞ.....	162

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Alışılmamış imalat yöntemlerinin birlikte kullanımı	6
Çizelge 2.2. Laboratuvar aşamasını geçerek endüstriyel uygulama bulan alışılmamış imalat yöntemleri	7
Çizelge 3.1. Karar matrisi	32
Çizelge 3.2. ELECTRE yöntemleri	36
Çizelge 3.3. PROMETHEE tercih fonksiyonu tipleri.....	37
Çizelge 3.4. AHP Karşılaştırma Ölçeği	39
Çizelge 3.5. AHP, RI (Random Index) Değerleri	40
Çizelge 3.6. Hwang ve Yoon'un 10-puan Ölçeği.....	42
Çizelge 3.7. TOPSIS Karar matrisi.....	42
Çizelge 4.1. BAHF yöntemlerinin karşılaştırılması	54
Çizelge 4.2. Bulanık TOPSIS Yöntemlerinin karşılaştırılması.	64
Çizelge 4.3.Kriter Ağırlıkları ve Kriter Performansları için kullanılan sözel değişkenler tablosu	65
Çizelge 4.4. AİY seçimi konusunda yapılan ÇKKV çalışmaları	74
Çizelge 5.1. Alternatif olarak incelenen alışılmamış imalat yöntemleri.....	75
Çizelge 5.2. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin operasyonlara göre şekilsel yeterlilikleri	79
Çizelge 5.3. AİY malzeme uygunluk tablosu	80
Çizelge 5.4. Nicel kriterler performans değerleri	81
Çizelge 5.5. Nitel kriter performanslarının gösteriminde kullanılan ölçek.....	83
Çizelge 5.6. Maliyet Kriterleri Performans tablosu.....	83

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.7. AİY – Malzeme Uygunluğu Performans Tablosu	84
Çizelge 5.8. Ana kriter alt kriter ağırlık dağılımı	87
Çizelge 5.9. Kriterlerin karşılaştırılmasında kullanılan sözel değişkenler.....	87
Çizelge 5.10. Ana kriterler ikili karşılaştırma tablosu	87
Çizelge 5.11. Kalite ana kriteri, alt kriterler karşılaştırma tablosu.....	87
Çizelge 5.12. Maliyet ana kriteri, alt kriterler karşılaştırma tablosu	88
Çizelge 5.13. Delme kesme sınırları ana kriteri, alt kriterler karşılaştırma tablosu ...	88
Çizelge 5.14. Kriter ağırlıkları tablosu	91
Çizelge 5.15. Ağırlık vektörü	91
Çizelge 5.16. Vaka 1 karar matrisi	93
Çizelge 5.17. Vaka 1 normalize matrisi.....	95
Çizelge 5.18. Vaka 1 ağırlıklı normalize matris.....	96
Çizelge 5.19. Bulanık pozitif ideal çözümünden uzaklık	97
Çizelge 5.20. Bulanık negatif ideal çözümünden uzaklık	97
Çizelge 5.21. Vaka 1 - Bulanık ideal çözümlerden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu).....	98
Çizelge 5.22. Vaka 1 Genelleştirilmiş ortalama değerler	99
Çizelge 5.23. Vaka 1 Pozitif ideal çözümünden uzaklık	100
Çizelge 5.24. Vaka 1 Negatif ideal çözümünden uzaklık.....	100
Çizelge 5.25. Vaka 1 - Bulanık ideal çözümlerden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama metodu).....	101
Çizelge 5.26. Vaka 1 Karar matrisi (BNP değerine dayalı BTOPSIS).....	102
Çizelge 5.27. Vaka 1 en iyi bulanık olmayan (BNP) değerleri.....	103

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.28. Vaka 1 için BNP normalize matrisi.....	104
Çizelge 5.29. Vaka 1 için BNP ağırlıklı normalize matrisi.....	105
Çizelge 5.30. Vaka 1 - Bulanık ideal çözümlerden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu)	106
Çizelge 5.31. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu).....	106
Çizelge 5.32. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)	107
Çizelge 5.33. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (BNP)	107
Çizelge 5.34. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu).....	108
Çizelge 5.35. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)	108
Çizelge 5.36. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (BNP)	108
Çizelge 5.37. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu).....	110
Çizelge 5.38. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)	110
Çizelge 5.39. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (BNP)	110
Çizelge 5.40. Vaka 5 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu).....	111
Çizelge 5.41. Vaka 5 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)	112
Çizelge 5.42. Vaka 5 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (BNP)	121
Çizelge 6.1. AHP ve BAHP ile elde edilen ağırlık vektörleri.....	114

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.2. Vaka 1 için sıralama sonuçları.....	114
Çizelge 6.3. Vaka 2 için sıralama sonuçları.....	115
Çizelge 6.4. Vaka 3 için sıralama sonuçları.....	115
Çizelge 6.5. Vaka 4 için sıralama sonuçları.....	116
Çizelge 6.6. Vaka 5 için sıralama sonuçları.....	116

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. AJM prosesi şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.2. Su jeti ile işleme prosesi şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.3. Aşındırıcılı su jeti nozulu	13
Şekil 2.4. Ultrasonik işleme prosesinin şematik gösterimi	15
Şekil 2.5. USM ve RUSM malzeme kaldırma hızı karşılaştırması	16
Şekil 2.6. ECM prosesi	18
Şekil 2.7. Elektrokimyasal taşlama.....	19
Şekil 2.8. Elektrokimyasal honlama	20
Şekil 2.9. EDM işleme mekanizması.....	21
Şekil 2.10. Tel erozyon ile işleme prosesi	22
Şekil 2.11. Kimyasal işlemenin şematik gösterimi.....	24
Şekil 2.12. Elektron ışını ile işlemenin şematik gösterimi.....	24
Şekil 2.13. LBM şematik gösterimi	26
Şekil 2.14. Plazma ark ile işleme yönteminin şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.1. Karar Verme Metotlarının Sınıflandırılması	30
Şekil 3.2. Karar analiz süreci akış diyagramı.....	30
Şekil 3.3. Karar hiyerarşisi.....	38
Şekil 3.4. TOPSIS Diyagramı	41
Şekil 4.1. Üçgen bulanık sayıların şematik gösterimi	42
Şekil 4.2. Yamuksal bulanık sayıların şematik gösterimi.....	47
Şekil 4.3. M_1 ve M_2 Bulanık Mertebe Analizi Değerlerinin Karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.1. AİY Seçim Problemi Karar Hiyerarşisi.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\lambda_{\max}$	Matrisin en büyük özdeğeri
μm	Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
D^{+}	Pozitif ideal çözümden uzaklık
D^{-}	Pozitif ideal çözümden uzaklık
d_g	Tanecik çapı
kHz	Kilo Hertz
lt/s	litre/saniye
L/D	uzunluk/çap
t/w	Kesme kalınlığı/kesme derinliği
m/d	metre/dakika
m/dak	metre/dakika
mm	Milimetre
mm^3/dak	milimetreküp/dakika
MPa	Mega pascal
N	Newton
rpm	Devir/dakika
W	Öncelik vektörü
W/mm^2	Watt/metrekare
w_i	Kriter ağırlığı (önemi)

Kısaltmalar**Açıklama**

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AİY	Alışılmamış İmalat Yöntemi
AJM	Aşındırıcı jet ile işleme
ANP	Analitik Network Prosesi
AWJM	Aşındırıcılı su jeti ile işleme
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BNP	En iyi bulanık olmayan performans
BTOPSIS	Bulanık TOPSIS
CC_i	Yakınlık indeksi
CHM	Kimyasal işleme
CI	Tutarlılık İndeksi
CR	Tutarlılık Oranı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
EBM	Elektron ışıını ile işleme
ECG	Elektro kimyasal taşılama
ECH	Elektro kimyasal honlama
ECM	Elektro kimyasal işleme
EDM	Elektro erozyon ile işleme
FNIS	Bulanık negatif ideal çözüm kümesi
FPIS	Bulanık pozitif ideal çözüm kümesi
LBM	Lazer ışıını ile işleme
MRR	İşleme hızı
PAM	Plazma ile işleme
RI	Saaty'nin Rasgele İndeksi
RUSM	Döner ultrasonik işleme
TOPSIS	İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği
USM	Ultrasonik işleme
WEDM	Tel erozyon ile işleme
WJM	Su jeti ile işleme

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan yüksek mukavemetli yeni malzemeler (süper alaşımlar, kompozitler, seramikler, vb), 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 klasik talaş kaldırma yöntemlerinin tersine iş parçası ve takım arasında mekanik ve ısıl gerilimler gibi istenmeyen sonuçlar doğuran direk bir temas oluşturmada enerji transferi yoluyla parçaları işlemektedir [Rajurkar ve Ross, 1992]. Alışılmamış imalat yöntemleri; işleme parametrelerinin çoğunlukla bilgisayar kontrollü olması, direk temas gerektirmeyen çalışma ortamından dolayı kullanılan fikstürlerin nispeten basit olması, geleneksek yöntemlerle ekonomik olarak işlenemeyecek parçaların yüksek kaliteli düşük maliyetli işlenmesini sağlaması nedenleriyle hızla yaygınlaşmakta ve konvansiyonel talaşlı imalat yöntemlerinin yerini almaktadır.

Alışılmamış imalat yöntemleri çok çeşitli ve çok disiplinlidir. Yoğun tecrübeye ve eğitime sahip imalat mühendisleri bile en uygun alışılmamış imalat yönteminin seçimi konusunda kendilerini hazır hissetmeyebilir [Yao ve ark., 2005]. Alışılmamış imalat yöntemlerindeki hızlı değişimler, mühendislik eğitiminde büyük oranda alışılmış imalat yöntemlerine dayalı bilgilerin verilmiş olması, alışılmamış imalat yöntemlerinin çok geniş bir alana yayılmış olması gibi çeşitli nedenler alışılmamış imalat yöntemi seçiminde karar vermeyi zorlaştıran unsurlar olarak çıkmaktadır. Bu çalışmada alışılmamış imalat yöntemi seçimi konusunda sistematik bir yöntem geliştirilmesi üzerinde çalışılacaktır.

Karar, amaçların kısıtlar altında kesişme noktası olarak tanımlanır [Bellman ve Zadeh 1970]. Karar verme süreci problemin tanımı, kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi, en iyi alternatifi 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 veren yöntemlerdir. Yöntemlerin çoğunda değerlendirilen bilgi kesin yargılar içeren bir bilgidir. Bununla birlikte gerçek hayatta karar süreci genellikle kesin olmayan subjektif 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 çok kriterli karar verme yöntemlerine eklenmesi ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bulanık küme teorisi, çok kriterli karar problemlerinin çözümünde alternatiflerin karşılaştırılmasında belirsizliği ele almak için kusursuz biçimde uygun olmuştur [Aouam ve ark., 2003]

Literatür incelendiğinde BAHP ve BTOPSIS yöntemlerinin en çok işletmelerin tedarikçi, makine kurulum yeri, yazılım ve işletim sistemi seçimi gibi problemlerine uygulandığı görülmektedir. [Karakaşoğlu, 2008]. Alışılmamış imalat yöntemleri ile ilgili çalışmalar ise oldukça kısıtlıdır ve bulanık olmayan karar verme yöntemlerine dayalıdır. Tez çalışmasında literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak, Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS in kullanıldığı bir model geliştirilmiştir.

Tezin ilk bölümünde çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntem konusunda bilgi verilmiştir. İkinci bölümde; alışılmamış imalat yöntemleri, özellikleri, kullanım alanları, temel performans kriterleri, aralarından seçim yapılacak yöntemlerin karşılaştırılması konuları incelenmiştir. Üçüncü bölümde; karar verme süreci, çok kriterli karar verme probleminin yapısı, çok kriterli karar verme yöntemleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde bulanık sayı teorisi, bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri hakkında bilgi verilmiş, literatürde yeralan alışılmamış imalat yöntemleri konusunda yapılan çok kriterli karar verme çalışmaları incelenmiştir. Beşinci bölümde; alışılmamış imalat yöntemleri ve seçilen performans kriterleri esas alınarak BAHP ve BTOPSIS yaklaşımlarına dayalı karar modelleri kurulmuştur.

Seçim modelinde kriterlerin ağırlıklarının tespitinde BAHP ve alternatif sıralanması aşamasında ise üç farklı BTOPSIS yaklaşımı kullanılmıştır. Altıncı ve son bölümde ise seçim modelinden elde edilen sonuçlar yorumlanarak ve literatürde sunulan sonuçlarla karşılaştırılmış ve gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİ

Katı malzeme hammaddeden şekillendirme amaçlı imalat yöntemleri temel olarak ikiye ayrılır: 1) Şekillendirme (Plastik Deformasyon) ve 2) Malzeme İşleme (Talaş Kaldırma). Talaşlı malzeme kaldırma yöntemlerinde şekillendirilecek iş parçası üzerinden küçük parçacıklar halinde malzeme koparılarak (talaş) şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Talaşlı malzeme işleme Alışılmış İmalat Yöntemleri ve Alışılmamış İmalat Yöntemleri olmak üzere iki grup olarak incelenebilir.

AİY kesici uç, matkap ucu veya taşlama taşı gibi takımlar kullanır. Kesici takım ile iş parçası arasında mekanik temas vardır ve talaş kaldırma işlemi esnasında karşılıklı bir hareket vardır. Talaş kaldırma, takım ve iş parçası arasındaki mekanik temas esnasında hareketin etkisi ile oluşan kuvvetin oluşturduğu gerilme sonucu iş parçasında parça koparmaya dayanır. Ancak alışılmış talaş kaldırma yöntemlerinin aşağıda sıralanan dezavantajları bulunmaktadır [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

- İşlemede, iş parçasının mekanik özellikleri belirleyicidir. Çok yüksek mukavemetli parçaların işlenmesi zor ya da imkânsız olabilir. İşleme hızı çok düşebilir. Özel takımlar gerekebilir.
- Takım ve iş parçası arasındaki hareket doğrusal ya da daireseldir. Bu elde edilebilecek şekilleri düzlemsel ya da silindirik şekillerle sınırlıdır.
- İşleme takım ve iş parçası arasındaki mekanik kuvvete dayandığından çok küçük boyutlu takımların kullanımı, dolayısıyla küçük parçaların imali mümkün olmamaktadır.
- Takım aşınması tüm geleneksel yöntemler için önemli bir problemidir.
- Kesme bölgesinde oluşan ısı ve mekanik gerilim iş parçasının mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilir.
- Çok hassas ve kompleks geometrilerin işlenmesi konusunda yetenekleri sınırlıdır.

İkinci Dünya Savaşı sonrası havacılık, uzay ve elektronik sektöründeki gelişmeler sonucu ortaya çıkan yüksek mukavemetli malzemeler ve küçük boyutlu parçaların

işlenmesi gibi gereksinimler kesici takımların yerine enerjinin direk formlarda şekillendirme yaptığı alışılmamış imalat yöntemlerini ortaya çıkarmıştır. AİY sahip olduğu avantajlar literatürde geniş yer bulmuştur [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

- Sertlik ve mukavemeti dikkat almaksızın metal ve metal olmayan geniş bir malzeme spektrumunu işleme kapasitesine sahiptirler.
- Kesme takımının sertliğinin bir önemi yoktur, kesme takımı ile iş parçası arasında temas yoktur.
- Çok sert malzemelerde kompleks ve hassas şekiller yüksek doğruluk, yüksek yüzey kalitesi ve çapaksız olarak üretilebilir
- Alışılmamış imalat yöntemi ekipmalarında basit kinematik hareketlere gereksinim duyulur
- Mikro ve minyatür delikler ve boşluklar işlenebilir.
- Alışılmamış imalat yöntemleri çoğunlukla bilgisayar kontrollüdür. Bilgisayar kontrolü işlem parametrelerinin ve prosesin kontrolünü sağlar.

2.1. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Alışılmamış imalat yöntemleri genel olarak malzeme kaldırmada kullanılan enerji tipine göre üç ana sınıfa ayrılır [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

- Mekanik İşleme: Malzeme kaldırma mekanik aşındırma veya kesme ile yapılır.
- Kimyasal ve Elektrokimyasal İşleme: Kimyasal işlemede, asit ya da alkalilerin aşındırıcı olarak kullanılarak ısıl reaksiyonlardan dolayı malzeme tabaka halinde kaldırılır. Elektro-kimyasal işleme ise yüksek bir malzeme kaldırma karakteristiğine sahiptir. İşleme yüksek yoğunluk doğru akımın geçmesi sonuç ortaya çıkan anodik çözülmeye dayanır.
- Termoelektrik İşleme: Bu proseste malzeme kaldırma oranı kontrollü ve sınırlandırılmış olarak oluşturulan kıvılcımların ortaya çıkardığı ısıl enerjiye bağlıdır.

Ancak son yıllarda farklı alışılmamış imalat yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen hibrid prosesler de yaygınlaşmaktadır. Hibrid proseslerde performans karakteristikleri yalnız kullanıma göre oldukça farklıdır. Örneğin, malzeme kaldırma için elektrolit içinde elektrik boşalımının kullanıldığı elektro erozyon elektro kimyasal işlemede malzeme kaldırma oranı elektro erozyon ile işleme ya da elektro-kimyasal işlemeye göre 5 ila 50 kat arası daha büyüktür. Alışılmamış imalat yöntemlerinin birlikte kullanımı Çizelge 2.1 [www.mrl.colombia.edu] de sunulmuştur. Tabloda verilen hibrid yöntemler: Aşındırıcı elektro-kimyasal taşlama (AECG), aşındırıcı elektro-kimyasal honlama (AECH), elektro-kimyasal ark işleme (ECAM), elektro-kimyasal elektro erozyon işleme (ECDM), aşındırıcı elektro erozyon ile taşlama (AEDG), aşındırıcı elektro erozyon ile işleme (AEDM), manyetik aşındırıcı sonlama (MAF), elektro-kimyasal yardımcı ultrasonik işleme (USMEC), ultrasonik yardımcı elektro erozyon ile işleme (UAEDM), lazer yardımcı işleme (LAT), lazer yardımcı elektro-kimyasal işleme (LBCM) olarak sunulmuştur. Tablo içerisinde kullanılan kısaltmalar ise ED-elektro erozyon; LB—lazer ışını; EB--elektron ışını; PB—plazma ışını; CH--kimyasal; EC--elektro kimyasal; A--aşındırıcı; T--tornalama; US--ultrasonik; F—akış şeklindedir.

Çizelge 2.1. Alışılmamış imalat yöntemlerinin birlikte kullanımı
[www.mrl.colombia.edu]

		ED	LB	EB	PB	CH	EC	A	T	US	F
Termal	ED	EDM					ECDM	AEDG		UAED M	
	LB		LBM			LAB	LBCM		LAT		
	EB			EBM							
	PB				PBM				PAT		
Kimyasal	CH		ELB			CHM		EEM			CHP
	EC	ECAM	LBCM				ECM	AECG		USEC M	
Mekanik	A	AEDM				MCP	AECH	G		USG	
	T		LAT		PAT				T	UAT	
	US		UALBM				USME C	GUS	UAT	USM	USP
	T					CHP	LAB			USP	JM

2.2. Endüstride Yaygın Olarak Kullanılan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

1980 yılında yayınlanan “Machining Data Handbook” kitabına göre endüstriyel olarak kullanılan 31 farklı yöntem mevcut olmasına rağmen günümüzde bu sayı çok daha fazladır. Laboratuvar aşamasını geçerek endüstriyel uygulama bulan elli altı adet Alışılmamış İmalat Yöntemleri Çizelge 2.2. de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Laboratuvar aşamasını geçerek endüstriyel uygulama bulan AİY [Erden, 2011]

No	Alışılmamış İmalat Yöntemi	Simge	İngilizce isim
1	Aşındırıcı Akış ile işleme	AFM	Abrasive Flow Machining
2	Aşındırıcı Jet ile işleme	AJM	Abrasive Jet Machining
3	Basınçlı Su Jeti ile İşleme	WJM	Water Jet Machining
4	Hidrodinamik işleme	HDM	Hydrodynamic Machining
5	Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Abrasive Water Jet Machining
6	Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalama	AWJT	Abrasive Water Jet Turning
7	Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Low Stress Grinding
8	Sünek İlerlemeli Taşlama	CFG	Creep Feed Grinding
9	Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Thermally Assisted Machining
10	Tümünden Şekil İşleme	TFM	Total Form Machining
11	Ultrasonik (Ses Ötesi) İşleme	USM	Ultrasonic Abrasive Machining
12	Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Rotary Ultrasonic Machining
13	Toz Parçacıkları ile İşleme	PPM	Powder Particle Machining
14	Elastik Emisyon ile İşleme	EEM	Elastic Emission Machining
15	Manyetik Aşındırıcı Toz ile Parlatma	MAP	Magnetic Abrasive Polishing
16	Elektro Kimyasal İşleme	ECM	Electrochemical Machining
17	Elektro Kimyasal Çapak Temizleme	ECDB	Electrochemical Deburring
18	Elektro Kimyasal Delik Delme	ECD	Electrochemical Drilling
19	Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding
20	Elektro Kimyasal Erozyon Taşlama	ECDG	Electrochemical Discharge Grinding
21	Elektro Kimyasal Honlama	ECH	Electrochemical Honing
22	Elektro Kimyasal Lepleme	ECL	Electrochemical Lapping
23	Elektro Kimyasal Parlatma	ECP	Electrochemical Polishing
24	Elektro Kimyasal Bileme	ECS	Electrochemical Sharpening
25	Elektro Kimyasal Dilme	ECS	Electrochemical Slitting
26	Elektro Kimyasal Tornalama	ECT	Electrochemical Turning
27	Elektro Kimyasal Sıvı Jeti	ES	Electrochemical Stream
28	Şekilli Boru ile Elektrolitik İşleme	STEM	Shaped Tube Electrolytic Machining
29	Telli Elektro Kimyasal Kesme	WECM	Wire Electrochemical Machining

Çizelge 2.2.(devam) Laboratuvar aşamasını geçerek endüstriyel uygulama bulan AİY
[Erden, 2011]

30	Vurumlu Elektro Kimyasal İşleme	PECM	Pulsed Electrochemical Machining
31	Telli Elektrokimyasal Erozyon İşleme	WECDM	Wire Electrochemical Discharge Machining
32	Elektro Parlatma	ELP	Electro-Polishing
33	Kimyasal İşleme (Frezeleme)	CHM	Chemical Machining (Milling)
34	Fotokimyasal İşleme	PCM	Photochemical Machining
35	Kimyasal Boşaltma	CHB	Chemical Blanking
36	Kimyasal Dağlama	CHE	Chemical Etching
37	Isıl Kimyasal İşleme	TCM	Thermo Chemical Machining
38	Lazer Yükleli Kimyasal İşleme	LCP	Laser Loaded Chemical Machining
39	Patlamalı Kimyasal İşleme	CM	Combustion Machining
40	Isıl Enerji Yöntemi	TEM	Thermal Energy Method
41	Elektron Işını ile İşleme	EBM	Electron Beam Machining
No	Alışılmamış İmalat Yöntemi	Simge	İngilizce isim
42	Elektro Erozyon ile İşleme	EDM	Electric Discharge Machining
43	Elektro Erozyon ile Taşlama	EDG	Electric Discharge Grinding
44	Elektro Erozyon Testere	EDS	Electric Discharge Sawing
45	Telli Elektro Erozyon ile Kesme	WEDM	Electric Discharge Wire Cutting
46	Dönel Elektro Erozyon	REDM	Rotary Electric Discharge Machining
47	Lazer Işını ile İşleme	LBM	Laser Beam Machining
48	Lazerli Hamlaç	LBT	Laser Beam Torch
49	Lazer Yükleli Kimyasal İşleme	LCP	Laser Induced Chemical Processing
50	Plazma ile İşleme	PAM	Plasma Beam (Arc) Machining
51	Plazma Yardımlı İşleme	PaM	Plasma Assisted Machining
52	Elektro Temas ile İşleme	EcM	Electro Contact Machining
53	İyon Işını ile İşleme	IBM	Ion Beam Machining
54	İyon Işını ile Sıçratma İşleme	IBSM	Ion Beam Sputter Machining
55	Tepkimeli İyon Işını ile İşleme	RIBE	Reactive Ion Beam Etching
56	İyon Işını ile Tohumlama	IBIP	Ion Beam Implantation Process

Tez çalışmasında ise endüstriyel olarak en yaygın olarak kullanılan ve işleme verileri literatürde mevcut olan on dört alışılmamış imalat yöntemi arasından seçim gerçekleştirilecektir. Bu yöntemlerin detaylı açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

2.2.1. Aşındırıcı jet ile işleme (AJM)

Aşındırıcı jet ile işlemede 1-9 bar arası basınç ve 150-350 m/s hıza sahip gaz (CO_2 , N_2 , hava) jeti içinde bulunan aşındırıcı tozların (Al_2O_3 , SiC vb) iş parçası yüzeyine

çarpıtılarak yüzeyden malzeme kaldırılmasına dayanır. Cam ve sert metallerin kesme, delik delme, kanal açma, çapak alma, temizle, aşındırma işlerinde kullanılabilir. AJM aynı zamanda hidrolik valf, uçak yakıt sistemi gibi delik, slot ve dişlerin çapaklarının alınarak çapaksız yüzey oluşturulmasında kullanılır. Kesme aşındırıcı tipi, gaz basıncı, aşındırıcı akış oranı, yaklaşma açısı ve uzaklığı, uygulama süresi değişkenleri ile kesme kontrol edilir. [Machinability Data Center, 1980]

AJM prosesinin genel olarak avantaj ve kısıtları aşağıdaki gibidir [Youssef ve El-Hofy, 2008: s.394]:

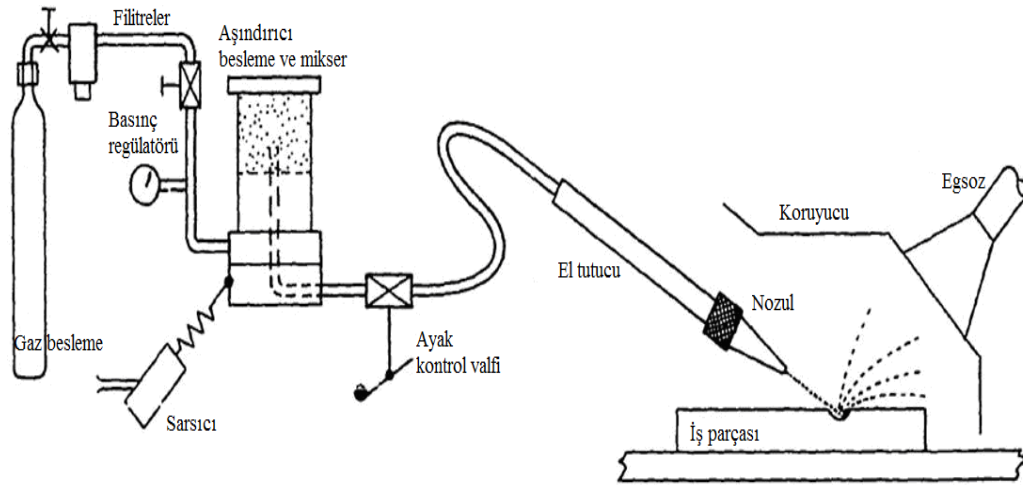
Avantajları:

- Sert ve kırılğan malzemelerde delik ve karmaşıl şekillerin işlenebilmesi
- Kırılğan malzemelerde ince kesimlerin yapılabilmesi
- Prosesde ısı ortaya çıkmaması dolayısıyla cam ve seramik gibi ısıl etkilere açık malzemelerin fiziksel özelliklerinde ve kristal yapılarında değişiklik olmaksızın işlenebilmesi
- Proses güvenlik riski yoktur
- Yüzeylerin temizlenmesinde özellikle klasik yöntemlerle ulaşılamayan yüzeylerin temizliğinde kullanılabilir
- AJM ile temizlenen yüzeyler yüksek aşınma direncine sahiptirler

Kısıtları:

- Prosesin uygulama alanı kırılğan malzemeler olup yumuşak malzemelerin işlenmesinde kullanılması önerilmez
- Aşındırıcılar keskinliklerini ve kesme kabiliyetlerini kaybettiklerinden tekrar kullanılamazlar
- İnce tanecik ($d_g < 10\mu m$) kullanıldığında nozullarda tıkanma olur
- Aşındırıcı jetin dağılması nedeniyle proses doğruluğu zayıftır
- Derin deliklerin işlenmesinde belirgin koniklik olur

- Yüzeye yapışan taneciklerin temizlenmesi için ek proses gerekebilir
- Aşırı nozul aşınması ek maliyet getirebilir
- Proses çevreye olumsuz etkilere sahiptir.



Şekil 2.1. AJM prosesi şematik gösterimi [Machinability Data Center, 1980]

Proseste 10-50µm tanecik boyutuna sahip tozlar genelde 0,2-2mm çapında tungsten karbür (WC) ya da sentetik safir nozul kullanılır. Nozulların ömrü kullanılan aşındırıcı ve proses basıncına göre değişmekle birlikte silikon karbür 8-15, alüminyum oksit 20-35 saat arasındadır. AJM prosesi ile ilgili ekipmanların ve uygulamanın şematik gösterimi Şekil 2.1’de görülmektedir.

2.2.2. Su jeti ile işleme (WJM)

Su jeti ile işleme, 0,1-0,25mm çapında bir nozuldan çıkan, 2000-8000 bar arası bir basınç ile 600-1400m/s hıza ulaşan su jetinin iş parçası yüzeyine çarpması ve yüzeyden malzeme kaldırması prensibine dayalıdır. Endüstride yaygın bir kullanım alanına sahip olan su jeti ile kesme prosesinin avantajları ve kısıtları aşağıdaki gibidir [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

Avantajları:

- Su ucuz, zehirli olmayan, kolayca atılabilir ve tekrar kullanılabilir bir malzemedir
- Proses kısıtlı miktarda (100-200lt/s) suya ihtiyaç duyar
- Takım (nozul) aşınmaz ve Karmaşık fikstürlere gerek duyulmaz
- Proseste ısı ortaya çıkmadığından ısı etkilenmiş yüzey olmaz. Bu yüzden özellikle patlayıcı ortamlar için çok uygundur
- Çapaksız, tozsuz, temiz ve keskin bir kesim yapar
- Cam, bakır, alüminyum gibi lazer yansıtıcı yüzeylere uygulanabilir
- Delme işlemine istenen noktada başlanılabilir
- İş parçası yüzeyinde ıslanma çok azdır (ihmal edilebilir)
- Güç ünitesi ve intensifier kesme istasyonundan uzaklaştırılırsa gürültü düzeyi düşüktür
- Genelde kırılğan malzemelerin kesiminde kullanılmakla birlikte sünek malzemelerde de kullanılabilir
- İş parçası üzerinde kısıtlı bir mekanik stres oluşur. Su jetinin oluşturduğu kuvvet genelde 50N geçmez.

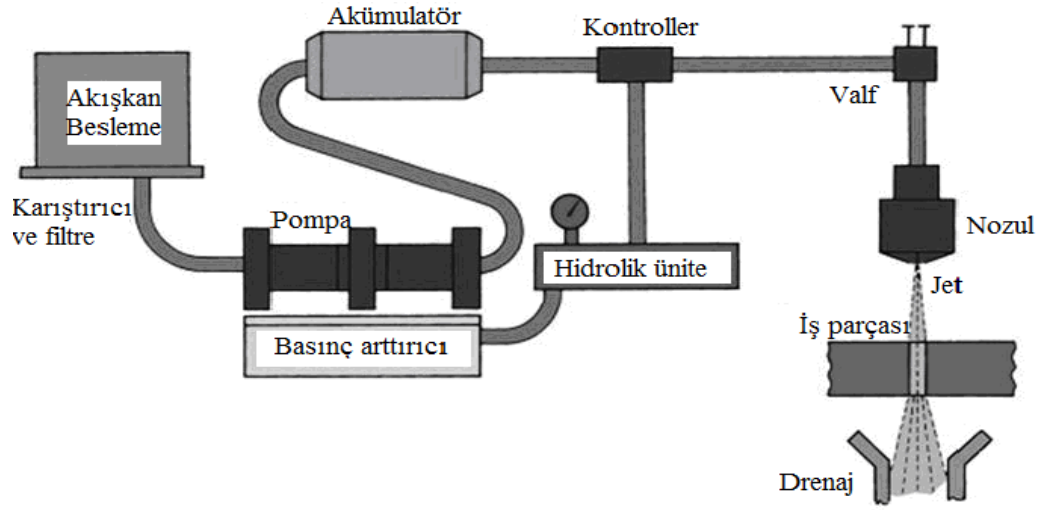
Kısıtları:

- İş güvenliği açısından güvenlik önlemleri sıkı bir şekilde uygulanmalıdır
- Yüksek yatırım maliyeti ve nitelikli operatör gereksinimi nedeniyle imalat maliyeti yüksektir
- Yüksek bakım maliyetleri nedeniyle seri üretime uygun değildir.

Su jeti ile işlemede genelde 0,07-0,5 mm çapında sentetik safir, volfram karbür gibi malzemelerden yapılmış nozul kullanılır.

Su jetinin sapmasını azaltmak, etkili boyunu arttırmak için içine yağ gibi uzun zincir yapılı polimer eklenir.

Sistemin şematik görünümü Şekil 2.2.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.2. Su jeti ile işleme prosesi şematik gösterimi

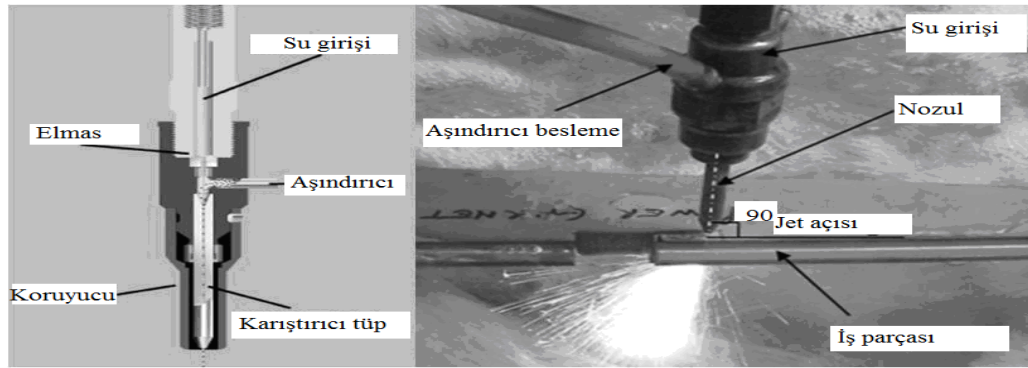
2.2.3. Aşındırıcılı su jeti ile işleme (AWJM)

Aşındırıcılı su jeti ile kesme AJM ve WJM proseslerinin entegrasyonundan oluşan hibrid bir prostestir. Aşındırıcı ilavesi ile su jetinin etkinliği artırılırken, su aşındırıcıların dağılmasını engeller, nozul aşınmasını azaltır. Bu şekilde bakır, alüminyum, titantum, karbürler, seramikler, beton, plastik, asbest, granit, akrilik, cam gibi çok geniş bir aralık yüksek malzeme kaldırma hızları ile işlenmesi mümkün olmaktadır.

AWJM, WJM'ye göre daha iyi kenar ve yüzey özelliklerine sahip olmanın yanında 10-50 kat daha hızlı kesim yapar. [Youssef ve El-Hofy, 2008]. AWJM, özellikle tabakalararası ayrışmaya neden olmadıklarından havacılık endüstrisinde otoklav sonrası karbon fiber gibi kompozitlerin kesiminde kullanılmaktadır.

AWJM, ekipmanı WJM sisteminden çok farklı değildir. Sistemdeki temel fark nozul sistemindedir. AWJM prosesinde kullanılan nozul Şekil 2.3.'de görülmektedir. WJM prosesine göre daha az (yaklaşık %80) basınca gereksinim duyar. Yaygın olarak 250-350Mpa ve 5L/min yeterlidir. Su, aşındırıcı volumetrik karışım oranı yaklaşık 3/7

oranındadır. Aşındırıcı (kum, Al_2O_3 , vb) boyutu olarak 10-180 μ m sıklıkla kullanılmaktadır. Polimer kullanımı WJM’de olduğu kadar yaygın değildir. Polimer etkisi ile jetin dağılma özelliğinin azalmasının aşındırıcıların su ile tam olarak karışmasına azaltacağı ve bu nedenle kesme verimini düşüreceği düşünülmektedir. [Youssef ve El-Hofy, 2008]. Bununla birlikte çalışma uzaklığı aşındırıcıların dağılma etkisini azaltmak amacıyla WJM ye göre daha kısadır.



Şekil 2.3. Aşındırıcılı su jeti nozulu [Boud ve ark., 2010]

2.2.4. Ultrasonik işleme (USM)

Ultrasonik işleme insan duyma eşiğinden (16kHz) daha yüksek frekansa, genellikle 18-40 kHz arası, ve 10-50 μ m genlikte eksenel olarak titreşim hareketi yapan takımın iş parçası üzerinden malzeme kaldırmasına dayanır. Prosesde iş parçası ile takım arasında temas olmayıp iş parçası ile takım arasındaki enerji transferi iş parçası ile malzeme arasındaki aşındırıcılı sıvı vasıtası ile sağlanır.

Shaw Teorisine göre ultrasonik işleme prosesi dört etkiye dayanır [Pandey ve Shan, 2008]

- Takım hareketi ile ivmelenen aşındırıcıların iş parçasına çarpmaları sonucu ortaya çıkan darbe etkisi
- Aşındırıcıların takımla iş parçası arasında kalmalarında dolayı oluşan çekiçleme etkisi

- Takım hareketi ile oluşan erozyon ya da kavitasyon etkisi
- Aşındırıcılı ortamın etkisi ile oluşan kimyasal erozyon

Çekiçleme ve darbe etkisi ultrasonik işlemenin temel mekanizması olup kavitasyon ve kimyasal aşınmanın etkisi ihmal edilebilir seviyededir. Bu şekilde takım formu iş parçasına işlenmiş olur. Ultrasonik işleme prosesinin avantaj, dezavantaj ve uygulamaları aşağıdadır [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

Avantajları:

- Karmaşık ve kompleks şekilleri elektrik iletken ve iletken olmayan malzemelere işleyebilir
- Proses dönme hareketi gerektirmediğinden dairesel olmayan delikleri işleyebilir
- Yüksel ölçüsel doğruluk ve yüzey kalitesine sahiptir
- Özellikle elektrik iletken olmayan malzemelerin işlenmesinde doğruluk ve malzeme kaldırma oranları açısından diğer alışılmamış imalat yöntemlerinin çok önündedir
- Proseste iş parçasının sıcaklığı yükselmediğinden fiziksel özelliklerde veya mikro yapıda değişim beklenmez

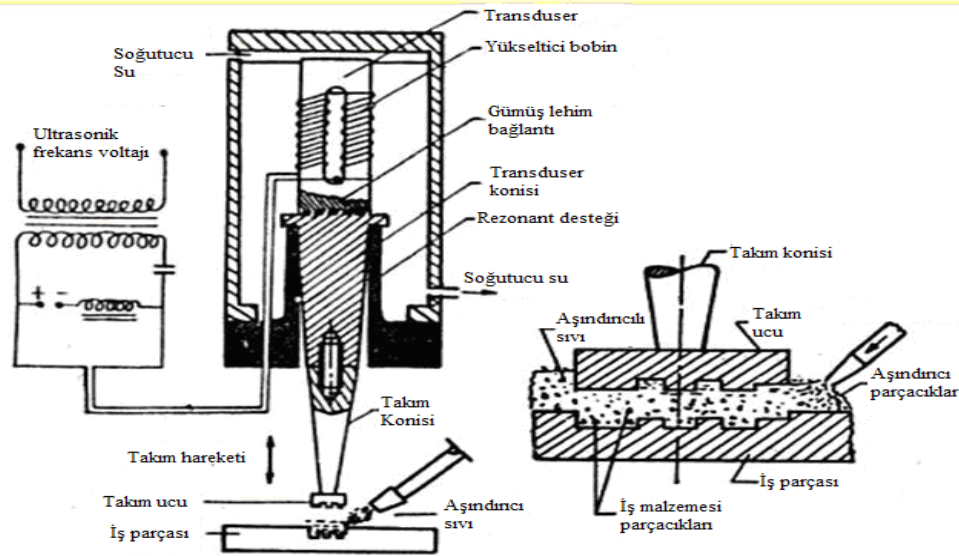
Dezavantajları:

- Karbon dışında elektrik iletken malzemelerin işlenmesinde ECM ve EDM proseslerine göre kısıtlı malzeme kaldırma oranlarına sahiptir
- Genişliği 25-30mm'den fazla olan delik ve boşlukların işlenmesi konusunda yeterli değildir
- Çelik karbür gibi iletken malzemelerin işlenmesinde ön ve yanlarda fazla aşınma olur. Yanal aşınma delik ve boşlukların doğruluğunu azaltır, konikle neden olabilir.
- Her iş için yüksek maliyetli takım maliyeti ortaya çıkar

- Güç tüketimi oranı yüksektir
- İş parçası kırılmaya karşı desteklenmelidir
- Kör delik uygulamalarında keskin kenar elde edilemez
- Aşındırıcı sıvının düzenli olarak değiştirilmesi gerekir

Uygulamalar:

- Sertleştirilmiş çelik ve sinterli karbürden imal edilen şekillendirme kalıplarının üretiminde
- Jet ile işleme proseslerinde kullanılan safir ve sinterli karbür nozulların ve tek çekme kalıplarının üretilmesi
- Seramik, cam, karbür gibi sert malzemelerin dilimlenmesi
- Seramiklere dönel takımla veya iş parçasının döndürülmesi ile diş açılması
- Kabartma ve gravürleme
- Delik delme, genişletme, boşluk işleme



Şekil 2.4. Ultrasonik işleme prosesinin şematik gösterimi [Pandey ve Shan, 2008]

Ultrasonik işlemede elektrik enerjisi önce ultrasonik titreşimler dönüştürülerek mekanik enerji olarak iş parçasına iletilir. Elektrik enerjisi, manyetik ya da piezo

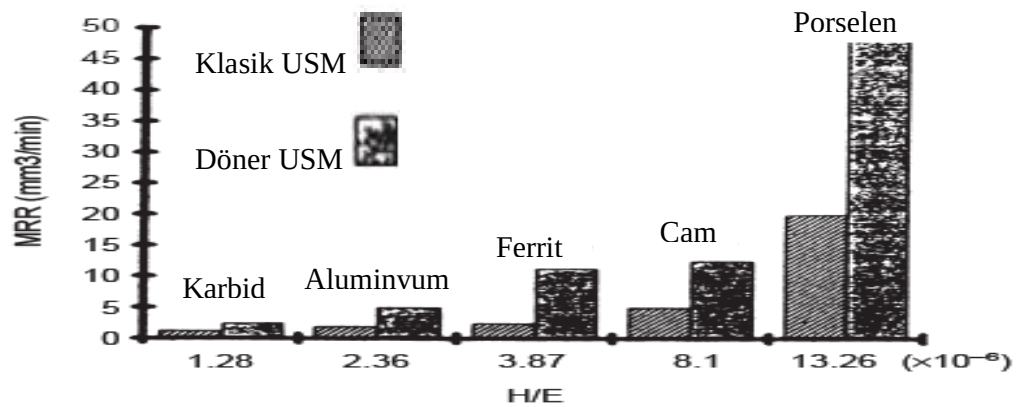
elektrik transduserler ile ultrasonik titreşimlere dönüştürülür ve elde edilen yüksek frekanslı, düşük genlikli titreşimlerin genlikleri transducer konisi yardımı ile yükseltilir. Elde edilen ultrasonik titreşimler ise hacimsel olarak %20 - %60 alüminyum oksit, boron karbür, silikon karbür, elmas tozu gibi aşındırıcılar içeren sıvı vasıtası ile iş parçasına iletilir. Ultrasonik işlemenin şematik görünümü Şekil 2.4. görülmektedir.

2.2.5. Döner ultrasonik işleme (RUSM)

Döner ultrasonik işlemede, ultrasonik işleme ve takım dönmesinin getirdiği mekanik işleme kombine edilmiştir. Tipik dönme hızı yaklaşık 300rpm olmakla birlikte elmas katkılı takımlarda 5000rpm kadar çıkabilir [Thoe ve ark., 1998].

Döner ultrasonik işleme özellikle delik delme ve yüksek L/D (derinlik/çap) oranına sahip deliklerin delinmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Döner ultrasonik işleme yüksek malzeme kaldırma oranı, hassas ve kırılgan parçalar için daha düşük takım basıncı, daha sağlıklı bir delik delme prosesi sağlar. [Youssef ve El-Hofy, 2008].

Ultrasonik işleme ve döner ultrasonik işleme malzeme kaldırma hızı karşılaştırması Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. USM ve RUSM malzeme kaldırma hızı karşılaştırması [Thoe ve ark. 1998]

2.2.6. Elektro kimyasal işleme (ECM)

Faraday elektroliz prensibine bağlı olarak anot durumundaki iş parçasından metal iyonlarının kopması ile iş parçası malzemesinin işlenmesine dayanır. İşleme hızı uygulanan akım, elektrolit tipi, iş parçası malzemesi, işleme sıcaklığı, iş parçası-takım uzaklığına göre değişir. ECM prosesinin şematik gösterimi Şekil 2.6'da görülmektedir.

ECM ilk kez 1930'da Gusseff tarafından patentlenmiş (BP-335003, 1930) olmakla birlikte ilk endüstriyel uygulamaları 1950-1960'larda gerçekleşmiştir. ECM ECM prosesinin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

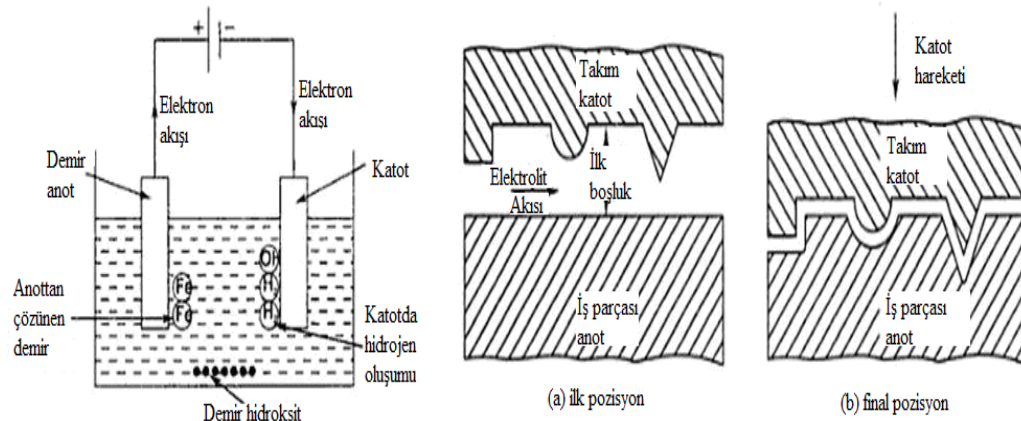
Avantajları:

- Üç boyutlu karmaşık profilleri iş parçası malzemesinin sertliği ve mukavemetine bağlı olmaksızın tek operasyon ile işlenebilir
- ECM -özellikle yüksek akım kullanıldığı durumlarda- hem alıılmış hem de alıılmamış imalat yöntemlerine göre yüksek malzeme kaldırma oranı sunar
- Takım aşınması olmadığından takımlar tekrar kullanılabilir
- İşleme yüzeyinde ısı ve mekanik hasarlanma olmaz
- Yüksek yüzey kalitesi ve doğruluk elde edilebilir
- İşçilik gereksinimi düşüktür
- Çapaksız ve stressiz yüzeyler elde edilir.

Dezavantajları:

- İletken olmayan malzemeler işlenemez
- Keskin köşeler (0.2 mm'den küçük yarıçaplar) işlenemez
- NaCl gibi ucuz elektrolitler korozyona neden olur. NaNO_3 gibi daha az korozyona neden olanlar ise pahalıdır.

- ECM ile üretilen parçalarda dayanıklılık limiti %10-25 azalır. Bu durumda yorulma mukavemetinin restore edilmesi için yüzey sertleştirme (shot peening) önerilir
- Alışılmış metotlara göre malzeme kaldırma oranı daha düşüktür
- Alışılmış metotlara göre güç tüketimi önemli ölçüde yüksektir
- Kavitasyon kanalları oluşabilir ve bu yüzey kalitesini bozar
- Elektrolitin yüksek basınclarda pompalanması iş parçası ve takım üzerinde yüksek hidrostatik basınca neden olur. Bu yüzden iş parçası ve takım için rijid bir çalışma ortamı sağlanmalıdır.
- İş parçası, işlemeden sonra temizlenmeli ve yağlanmalıdır
- İşleme esnasında ortaya çıkan hidrojen güvenli bir şekilde uzaklaştırılmalıdır. Aksi takdirde patlama tehlikesi ortaya çıkar
- İş parçası ile takım arasında temas olursa ya da ortamdaki oksidasyon ve metal parçaları nedeniyle kısa devre veya ark oluşursa iş parçası hasarlanabilir.



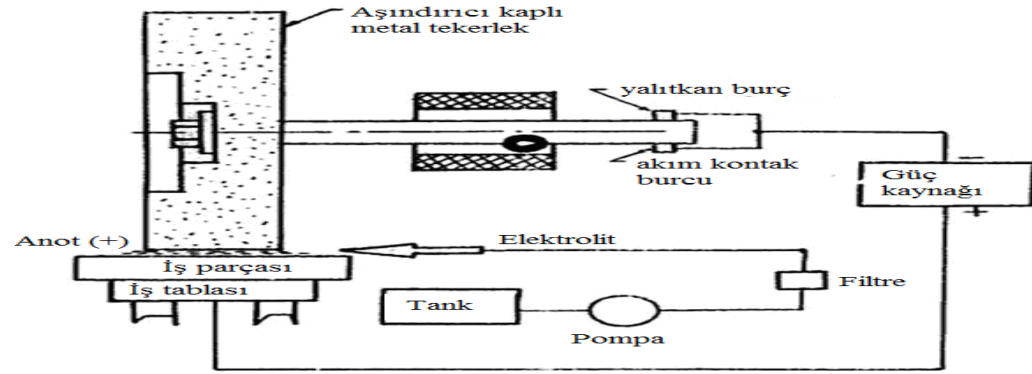
Şekil 2.6. ECM prosesi [Rao, 2009]

ECM prosesi üç temel unsur vardır: İş parçası, takım, ve elektrolit. İş parçası için tek kısıt elektrik iletken olması gerektiğidir. Takım malzemesi işlenebilir, sert, yüksek korozyon dayanımı, iyi elektriksel ve ısıl iletkenliğe sahip olmalıdır. Çoğunlukla bakır, bronz, pirinç, 316 paslanmaz çelik kullanılır. Karbon çeliklerinin düşük korozyon dayanımı nedeniyle önerilmez.

Elektrolit olarak yüksek akım yoğunluğunun sağlanması için yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır. Dar işleme boşluğunda yüksek elektrolit akışı elde etmek gerektiğinde düşük viskoziteli olmalıdır. Bu nedenle genelde inorganik tuzlar ve bunların karışımı elektrolit olarak kullanılır.

2.2.7. Elektro kimyasal taşlama (ECG)

ECG mekanik aşınmaya dayalı taşlama prosesi ile elektrokimyasal işleme prosesinin kombinasyonudur. Proses, Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Elektrokimyasal taşlama [Pandey ve Shan, 2008]

İşleme taşı negatif elektrot, iş parçası ise pozitif elektrotu oluşturur. Elektrolit olarak çoğunlukla NaNO_3 kullanılır. Genellikle malzemenin %95’i elektro kimyasal işleme, %5’i mekanik taşlama operasyonu sonucu kaldırılır. Bu nedenle taş aşınması %60 daha azdır. ECG prosesinin avantaj dezavantajları aşağıdadır [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

Avantajları:

- İşleme hızı mekanik taşlamaya göre daha yüksektir
- Takım aşınması ve takım düzeltme maliyeti daha düşüktür
- Isı hasar ve bozulma riski daha düşüktür

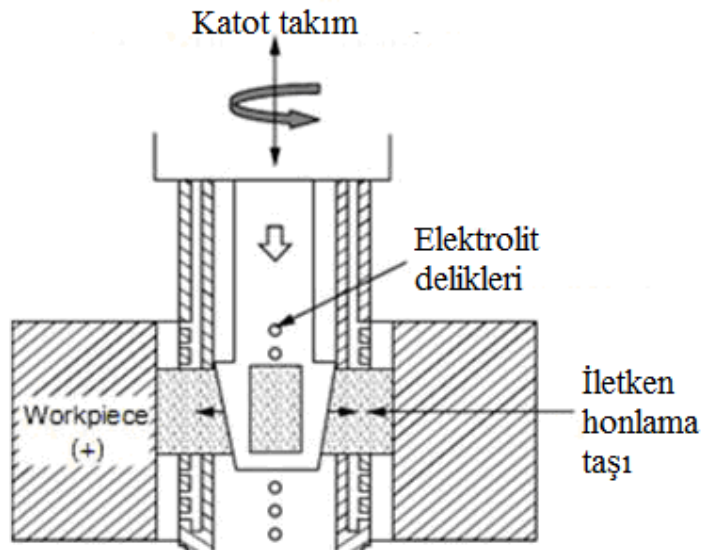
- apaksızdır
- Düşük taşlama basıncı doğruluğu artırır

Dezavantajları:

- Yüksek yatırım maliyeti
- Sadece elektrik iletken iş parçaları için kullanılabilir olması
- Elektrolitin getirdiği korozyon zararları
- Elektrolit filtreleme ve atık problemi

2.2.8. Elektro kimyasal honlama (ECH)

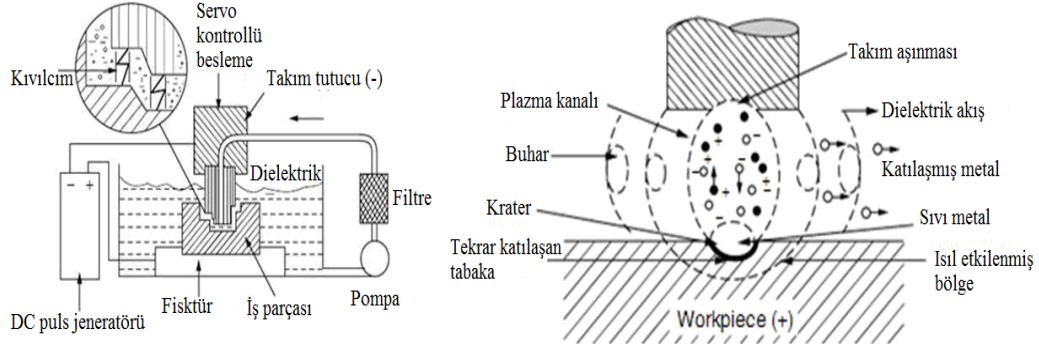
Elektrokimyasal honlama, elektrokimyasal işleme prosesi ve klasik honlama prosesinin kombinasyonudur. Hon gövdesi katot olarak elektrokimyasal işleme yaparken gövde üzerindeki hon taşları mekanik işleme yaparak silindir yüzeyindeki konikliği giderir, dalgalı yapı ve salgıyı alır, iş parçası yüzeyindeki elektrokimyasal işlemeden kalan artıkları temizler. İşleme hızı geleneksel honlamaya göre 3-5 kat, iç delik taşlamaya göre ise 4 kat daha yüksektir [Machining Data Center, 1980]



Şekil 2.8. Elektrokimyasal honlama [El-Hofy, 2005]

2.2.9. Elektro erozyon ile işleme (EDM)

Takım ile iş parçası arasında plazma kanalı ile enerji aktarımı sağlanması ve bu şekilde takım geometrisinin üç boyutlu olarak iş parçasına işlenmesi esasına dayanır. İş parçası ile takım arasında 10-500 μ m dielektrik sıvı ile dolu boşluk vardır. İş parçası ile takım arasında yeterli potansiyel farkı oluşunca dielektrik sıvı ionize olur ve iş parçası-takım arasındaki en yakın noktada kıvılcım oluşur. Oluşan kıvılcımların 10^{17} W/m² kadar çıkabilen enerji yoğunluğu ile sıcaklık 8000-12000°C'kadar yükselir ve dielektrik sıvıyı buharlaştırır. Dielektrik sıvının buharlaşması ile iş parçası-takım arasında plazma kanalı oluşur. Plazma kanalının basıncı yaklaşık 200 atmosfer kadar çıkabilir ve bu aşırı ısıtılmış metalin buharlaşmasına engel olur. Akımın kesilmesi ile plazma kanalı kapanır ve plazma kanalındaki basıncın hızla düşmesi ile ergimiş metal hızla buharlaşarak ortamdan uzaklaşır [El-Hofy, 2005]. Şekil 2.9'da işleme şematiği ve işleme mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.9. EDM işleme mekanizması [El-Hofy, 2005]

EDM en yüksek endüstriyel yaygınlığa sahip alışılmamış imalat metodudur. EDM prosesinin avantaj ve kısıtları aşağıda sunulmuştur [Youssef ve El-Hofy, 2008].

Avantajları:

- İş parçasının sertliği ve mukavemeti dikkate alınmaksızın metallerin, alaşımların ve karbürler için kullanılabilir

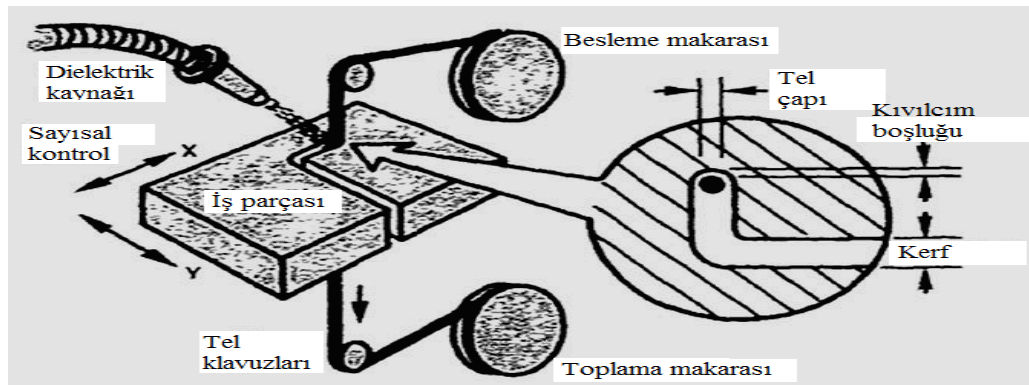
- İş parçası ile takım arasında mekanik temas yoktur. Çok hassas iş parçaları işlenebilir.
- Çok malzemelerde boşlukların işlenmesi, karmaşık profillerin işlenmesi ve girift şekillerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılır
- Çapaksızdır
- Elektrotlar işlenebilir malzemede kolayca yapılabilir.

Kısıtları:

- İş parçasının iyi bir elektrik iletken olması gerekir
- Yüzeyde ısıl etkilenmiş bölge vardır. Özellikle yorulma dayanımı gerektiren işler için ikincil proses gerekebilir.
- Keskin köşe ve kenarlar oluşturulamaz
- Enerji tüketimi yüksektir

2.2.10. Tel erozyon ile işleme (WEDM)

Tel erozyon ile işleme, şerit testere ile kontur kesme prosesinin elektro erozyon işleme prosesi ile yapılmasına oldukça benzer. Sürekli olarak hareket eden tel önceden belirlenmiş bir yol boyu hareket ederek iş parçasını keserken elektro erozyon boşalımları kesici diş gibi davranır. Tel erozyon ile işleme prosesi Şekil 2.10'da sunulduğu gibidir.



Şekil 2.10. Tel erozyon ile işleme prosesi [Machining Data Center, 1980]

2.2.11. Kimyasal işleme (CHM)

En eski alışılmamış imalat yöntemidir. CHM, iş parçasının yüzeyinin kontrollü bir şekilde asit ya da alkali kimyasallarla aşındırılarak işlenmesini esas alır. CHM, beş adımdan oluşur. Prosesin şematik gösterimi Şekil 2.11’de görülmektedir.

- İş parçasının hazırlanması, temizlenmesi
- Maske malzemesinin sürülmesi
- İşlenecek alanların maskeli yüzeyde belirlenmesi
- Kimyasala maruz bırakma
- Maskenin temizlenmesi

Prosesde kes-yapıştır maske, ışıka maruz kaldığından bozunan fotokimyasal maske ve stencil (silk-screen) maskeler kullanılabilir.

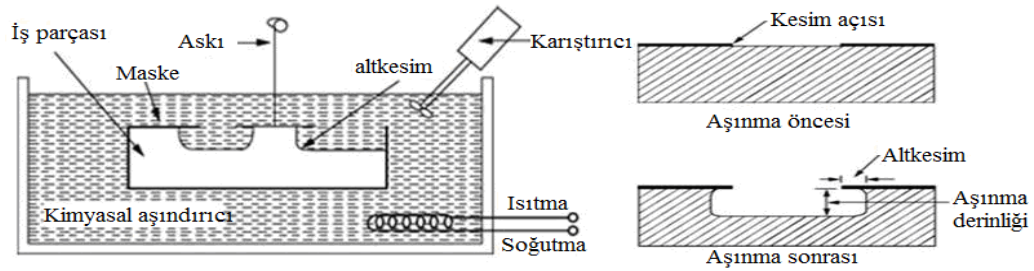
Prosesde yaygın olarak kullanılan aşındırıcılar FeCl_3 , CuCl_2 , HNO_3 , HF ve alkali aşındırıcılarıdır. Maske malzemesi olarak ise yaygın olarak vinil, bütül, neopren, polimer kullanılır. Prosesin titanyumdan silikona oldukça geniş bir uygulama alanı vardır. Öne çıkan avantaj ve deavantajları ise aşağıdaki gibidir [Cakir ve ark, 2007]

Avantajları

- İş parçasının sertlik gibi özellikleri prosesde etkili değildir.
- Eş zamanlı malzeme kaldırma
- Çapaksız
- İş parçasında stres oluşmaz
- Yatırım ve takım maliyeti düşüktür
- Tasarım değişiklikleri kolay ve çabuk şekilde uygulanır
- Yüzey kalitesi iyidir
- İşçilik kalifikasyonu düşüktür
- Hurda oranı düşüktür (%3)

Dezavantajları:

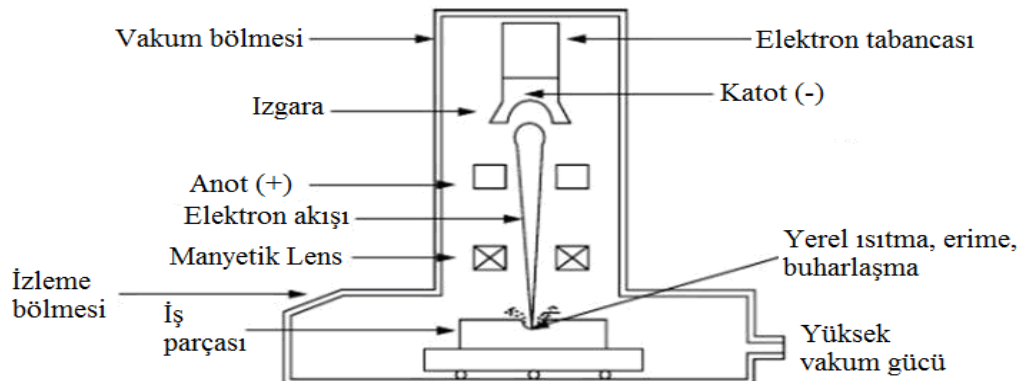
- Keskin köşeler elde edilemez
- Kalın malzemelerin kimyasal olarak işlenmesi zordur
- Maskenin işaretlenmesi zordur, bu da proses doğruluğunu bozar
- Aşındırıcıları işçiler için çok tehlikelidir
- Atık çevresel risk taşır. Bu nedenle atık bertarafı çok pahalıdır.



Şekil 2.11. Kimyasal işlemenin şematik gösterimi [El-Hofy, 2005]

2.2.12. Elektron ışını ile işleme (EBM)

Malzeme kaldırma için elektron ışını ilk kez 1947 de Steigerwald tarafından kullanılmıştır. 1960'dan beri ise endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. [El-Hofy, 2005]. İş parçası bir elektron tabancasından çıkan ve yaklaşık ışık hızının %50-%80 ni kadar hızlandırılmış elektronlar ile bombardıman edilerek yüzeyde lokal ısı oluşturularak iş parçasının ergimesi ve buharlaşması ile malzeme kaldırma sağlanır. Prosesin şematik gösterimi Şekil 2.12'de sunulmuştur.



Şekil 2.12. Elektron beam ile işlemenin şematik gösterimi [El-Hofy, 2005]

İşleme mekanizması temel olarak üç adımdan oluşur.

- Yüksek yoğunluklu elektron ışını ile yüzeyin bombalanması ve yüzeydeki malzemenin ergimesi ve yaklaşık %5'inin buharlaşması
- Buharlaşan malzemenin oluşturduğu kılcallık etkisi delikte oluşan malzemenin bir kısmı dışarı atılır.
- Elektron ışınının delme yüzeyinin arkasındaki dolgu malzemesine çarpması ile dolgu malzemesinin hızla buharlaşması ve oluşan buharı yüksek basınçla dışarı atılması.

Elektron ışını ile işleme özellikle çok sayıda ve küçük çaplı deliklerin delinmesinde, enjekör deliklerinin delinmesinde, oymacılık, düzensiz şekil ve kanalların açılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Prosesin avantaj ve kısıtları aşağıdaki gibidir [Youssef ve El-Hofy, 2008].

Avantajları:

- Küçük çaplı deliklerin yüksek hızla delinmesi (4000 delik/saniye hızına kadar)
- Malzeme özellikleri (sertlik, iletkenlik ..vb) dikkate alınmaksızın her tür malzemenin işlenmesinde kullanılabilir
- EDM ve ECM'e göre ekonomik olarak daha yüksek hızlarda mikro-işleme yapabilebilir
- Yüksek doğruluk ve proses tekrarlanabilirliği
- İşleme esnasında delme parametreleri kolaylıkla değiştirilebilir
- Yüksek verimlilik ve otomasyon
- Keskin açılı işlemler yapılabilir

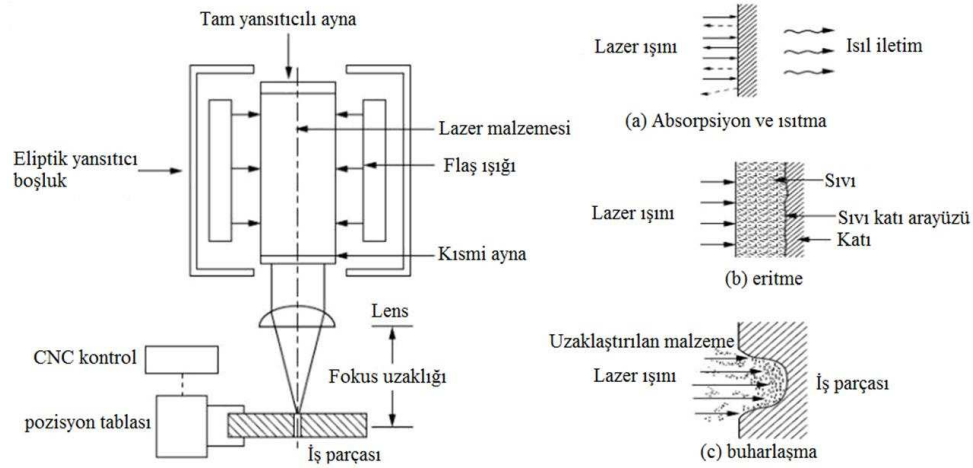
Kısıtları:

- Yüksek yatırım maliyeti

- İşleme hücresinin vakumlaması getirdiği zaman kaybı
- İşleme yüzeyinde oluşan tekrar katılaşma
- Dolgu malzemesi gereksinimi
- X ray zararları ve CNC programlama için gerekli yüksek nitelikli personel

2.2.13. Lazer ışını ile işleme (LBM)

Lazer ışını işle işleme elektron ışını ile işleme prosesine benzer olmakla birlikte lazerle işlemede işleme alanının vakum edilmesine gerek yoktur. Prosesin şematik gösterimi Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. LBM şematik gösterimi [Youssef ve El-Hofy, 2008]

Lazerle işlemede odaklanmış lazer ışını ile elde edilen yüksek enerji yoğunluğu ile malzemenin işlenmesine dayalıdır. Prosesin avantaj ve kısıtları aşağıda sunulmuştur [Youssef ve El-Hofy, 2008]:

Avantajları:

- Metal ve metal olmayan geniş bir malzeme atalığına sahiptir

- İş parçası ile mekanik temas yoktur. Bu nedenle takım aşınması ve mekanik deformasyon oluşmaz.
- İş parçasını kolayca sabitlenir
- Lazer ışını kırınımına uğramadan ilerler ve farklı iş istasyonları için kullanılabilir
- İş parçası için ulaşılamayan alanlara ulaşabilir
- İşlenmesi zor malzemeler ve refrakterlerde mikro delikler açılabilir
- İşleme parametrelerin kontrolü kolaydır
- Yüzeye göre 10°'ye kadar keskin açılı delikler delinebilir
- Kolayca otomasyon uygulanabilir
- Operasyon maliyeti düşüktür
- Yüzey hasarlı bölge diğer ısıtma yöntemlerine göre daha incedir.

Kısıtları:

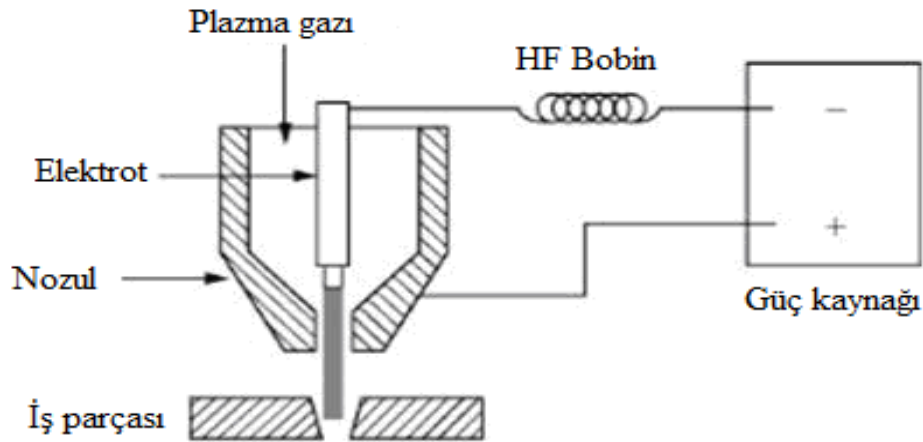
- Yüksek ekipman maliyeti
- Güvenlik riski
- Kör deliklerin doğru ölçü ile elde edilmesi zordur
- Deliklerde koniklik oluşur
- Prosesin doğruluğu ve yüzey kalitesi çok iyi değildir
- Yüzey hasarlı alan oluşur
- Proses büyük malzeme kaldırma operasyonları için uygun değildir

2.2.14. Plazma ile işleme (PAM)

Bir gazın sıcaklığı yaklaşık 2000C°'ye yükseltildiğinde gaz molekülleri atomlarına ayrılır. Sıcaklık 30.000 C°'ye yükseltildiğinde ise atomlar iyonize olur. Gazın bu hali plazma olarak adlandırılır. [El-Hofy, 2008]. Plazma durumundaki madde gaz atomlarından atılan (emitted) serbest atomlar, pozitif iyonlar ve nötr atomlardan oluşur. Plazma ile kesme 1950'lerde yüksek ısı iletkenlik, yüksek ısı kapasitesi,

alüminyum ve paslanmaz çelik gibi yüksek oksitlenme direnci olan malzemelerin kesilmesi amacıyla oksijenli kesme sistemler alternatif olarak ortaya çıkmıştır.

Plazma ile işlemede sıcak tungsten katot ile su soğutmalı bakır anot arasında sürekli bir ark oluşur. Ark elektrot ile iş parçası arasındaki gazı ısıtır ve onu plazma durumunda tutar. Plazma fazından dolayı akan gazın hızı saniyede birkaç yüz metre seviyesine ulaşır. Yüksek hız gazın momentumunu artırır ve kesme bölgesindeki ergimiş malzemeyi kaldırmayı hızlandırır. Yüksek gaz akış hızı plazma jetinin dağılmasını engeller ve plazma jeti ile nozul duvarı arasında soğutucu bir gaz tabakası oluşturur. Malzemenin ergimesi, direkt elektron bombardımanı ve plazmanın konvektif ısı transferi etkilerinin bir araya gelmesinden dolayıdır. Plazma enerjisinin % 45'i işparçasından malzeme kaldırmak için kullanılır. Plazma ark ile işleme yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Plazma ark ile işleme yönteminin şematik gösterimi [El-Hofy, 2008]

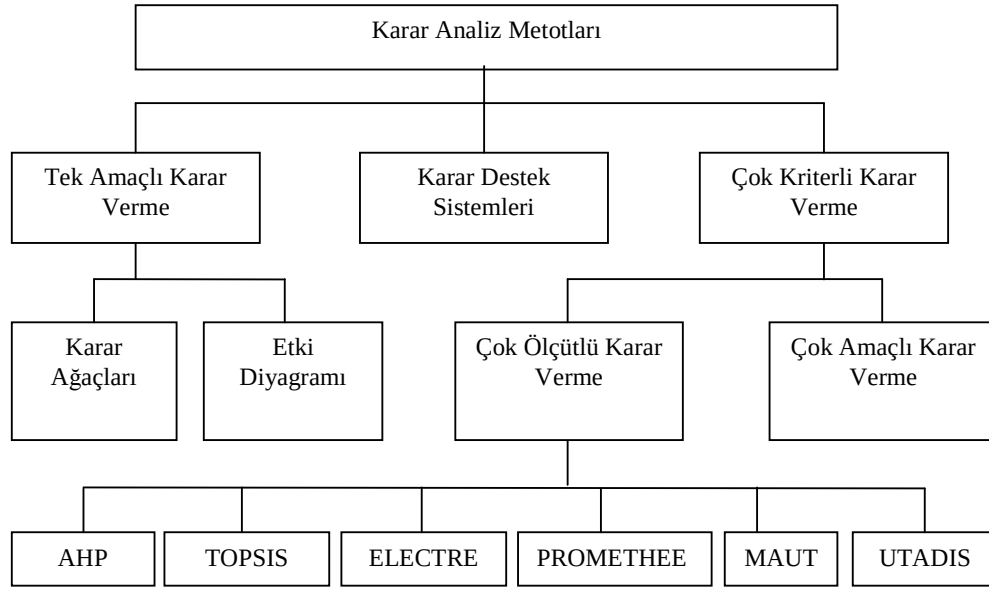
3. KARAR TEORİSİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

3.1. Karar Verme

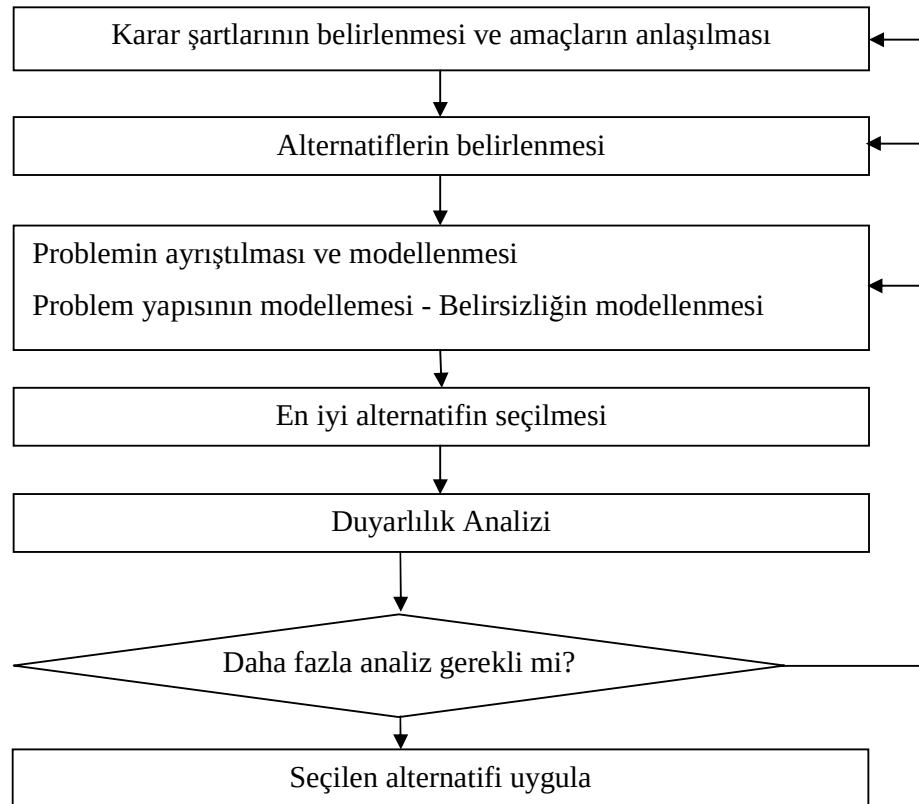
Karar verme, karar vericinin değişik alternatifler arasından, kendi amaçlarına uygun, kendisince önceden belirlenmiş belirli kriterlere göre en uygun alternatifi seçebilmesidir [Karakaya, 2003]. Karar verme ile ilgili tanımları artırmak mümkündür. Karar verme, insanın yaşamı boyunca hemen her dönemde karşılaştığı bir olgudur. İnsan, hayatı boyunca farklı durumlarda farklı alternatifler arasından seçim kararı vermek zorunda kalır. Karar verme, bir veya birden fazla amaca ulaşabilmek için eldeki olanak ve koşullara göre mümkün olabilecek çeşitli faaliyetlerden en uygun sonuçları vermesi beklenen faaliyetlerin seçimidir. Hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde alternatif eylem planlarından birini seçme sürecidir [Kuruüzüm ve Atsan, 2001]. Bu süreç içinde mevcut tüm alternatifler, faaliyetler, seçenekler, olasılıklar, stratejiler içinden karar verici açısından kısıtlar, hedefler ve kayıplar açısından optimizasyon sağlayan bir veya bir kaç seçilir. Tanımlarda görüldüğü üzere bir problemin karar problemi olabilmesi için birden fazla alternatifin olması ve bir amaç fonksiyonunun olması temel unsurlardır [Karakaşoğlu, 2008; Doğan, 1985]. Karar Verme’de temel unsur, insan ve insanlar olduğu için; problem yalnızca deterministik olmaktan çok daha ötedir. Bir karar; karar verici veya karar vericilerin genetik, psikolojik, fizyolojik, sosyolojik, ekonomik, kültürel vs. özellikleri ile yakından ilgilidir [Öz, 2007; Bouysou ve ark., 2006].

3.2. Karar Süreci

Karar süreci subjektif ve pek çok açıdan sınırlı kaynakların kullanıldığı bir süreçtir. Karar sürecini kontrol altında tutmak daha rasyonel kararlar alabilmek için farklı karar alma yöntemleri ve karar analiz yöntemleri ortaya konulmuştur. Literatürde öne çıkan karar analiz metotları Şekil 3.1.’de görülmektedir. Karar analizi konusunda farklı yöntemler kullanılsa da genel olarak karar analizi için izlenen akış diyagramı ortaktır. Karar analizi sürecinin akış diyagramı Şekil 3.2.’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Karar Verme Metotlarının Sınıflandırılması [Zhou ve ark., 2006]



Şekil 3.2. Karar analiz süreci akış diyagramı [Clemen, 1996]

Karar sürecinde kullanılan matematiksel modeller, yöneticilere karar verme sürecinde destek sağlamakla birlikte nihai kararın verilmesi kolay bir süreç değildir. Bunun birinci nedeni, verilen kararın sonuçlarının gelecekte gerçekleşeceği için kararların etkilerini ancak tahmin edebiliriz. Modele dâhil edilen ve edilemeyen faktörlerdeki beklenmedik değişiklikler modelin sonuçlarını geçersiz kılabilir. İkinci neden ise karar sürecinde ulaşılmaya çalışılan ve birbiri ile çelişen birden fazla hedefin olmasıdır [Ulucan, 2005].

Karar sürecinde birbiriyle çelişen birden fazla kriterin ölçüt olduğu durumlar için en yaygın olarak kullanılan yöntemler ise Çok Kriterli Karar Verme Metotlarıdır.

3.3. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

Karar vermede en iyi çözümü bulabilmek için çoğu kez birbiri ile çatışan ve sıklıkla ölçülemeyen hedeflerin dikkate alınması gerekmektedir. Çok kriterli karar verme, birden fazla çatışan kriterin olduğu durumlarda insanlara kriterler arasında birbirine göre önemlerini kullanarak göre karar vermelerine yardımcı olan tüm metotların genel (jenerik) ismidir [Loken, 2007].

Literatürde Çok kriterli karar verme metotları biriyle çatışan birden fazla kriterin olduğu durumlarda karar vericilere tercihlerine göre karar verme konusunda bilgilerin yapılandırılması ve kararın değerlendirilmesinde yardımcı olan sistematik yöntemler olarak tanımlanmıştır [Wang ve ark., 2009; Dodgson ve ark., 2001]. ÇKKV Metotları oldukça geniş çeşitlilik içermekle birlikte bu metotların pek çoğu aşağıda açıklanan ortak kavramları içermektedir [Triantaphyllou, 2000]:

Alternatifler: Genellikle alternatifler, karar vericiye sunulan değişik faaliyet seçeneklerini temsil ederler. Birkaç seçenektan yüzlerceye kadar çıkan sonlu bir kümedir. Alternatiflerin elenmesi, önceliklendirilmesi ve sıralanması beklenir.

Çok Ölçütlülük: Her ÇKKV Metodu birden fazla kriter (ölçüt) içerir. Kriterler alternatiflerin incelenecek farklı yönlerini gösterirler.

Kriter Çatışması: Kriterler, alternatiflerin farklı yönlerdeki performansını gösterdiğinde çatışabilir. Örneğin, bir alternatif kalite performansı için çok iyi skora sahipken maliyet performansı açısından zayıf kalabilir.

Farklı Birimler: Farklı kriterler farklı ölçü birimlerine sahip olabilir. Örneğin, işleme hızı mm³/dak iken tolerans mm cinsinden olabilir. Ayrıca bazı kriterler kesin sayısal değerlere sahipken, bazı kriterler iyi, orta, kötü gibi subjektif değerlendirmeler ile ölçülenebilir.

Karar Ağırlıkları: Çoğu ÇKKV Metodu, her bir kriterin diğer kriterlerine göre göreceli önemini belirten katsayılar kullanır. Genellikle, tüm kriterlere ait katsayıların toplamı 1 olacak şekilde normalize edilir.

Karar Matrisi: Bir ÇKKV problemi kolayca matris formatında ifade edilebilir. Çizelge 3.1.'de bir karar matrisi örnek olarak gösterilmiştir. Karar matrisi D bir mxn bir matristir. A₁, A₂,..... A_m karar vericinin seçebileceği alternatifleri, C₁, C₃,..... C_n kriterleri, a_{ij} ise alternatif A_i'nin C_i kriteri ve w_j ağırlığına göre performansını göstermektedir. w_j (j=1, 2,n) ise C_j kriterinin (j= 1, 2,n) göreceli önemini gösteren ağırlık katsayısıdır.

Çizelge 3.1. Karar matrisi [Triantaphyllou, 2000]

	Kriterler					
	C₁	C₂	C₃	•	•	•
Alt.ler	(w₁	w₂	w₃	•	•	w_n)
A₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	•	•	•
A₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•	•
A_m	a _{m1}	a _{m2}	a _{m3}	•	•	•

Alışılmamış İmalat Yöntemlerinde her yöntemin farklı güçlü yönleri olması, kullanıcı tercihlerinin farklılıkları, kriter sayısının fazlalığı ve bütün bu unsurların nedeniyle yüksek miktarda bilginin sistematik olarak değerlendirilmesi gereği

dikkate alındığında ÇKKV Metotlarının kullanımı proses seçimi için en doğru yöntem olarak değerlendirilmektedir.

3.3.1. ÇKKV metotlarının sınıflandırılması

Yıllar boyunca çok sayıda ÇKKV Metodu önerilmiştir. Bu metotlar farklı alanlarda ve farklı teorik yapı, soru ve sonuçlara sahiptir [Loken, 2007; Opricovic ve Tzeng, 2004]. Mevcut ÇKKV Metotlarının sınıflandırılması için kullanılan veri türü (deterministik, stokastik, bulanık), karar verici sayısı (tek, grup), veya eleme yöntemlerine dayalı pek çok yöntemi vardır.

Pek çok yazara göre ÇKKV metotları Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Ölçütlü Karar Verme olarak iki ana alana ayrılır.

Çok Amaçlı Karar Verme Metotları karar uzayının sürekli olduğu karar problemleri konusunda çalışır. Çoklu amaç fonksiyonuna sahip matematiksel programlama problemleri bu metotların tipik örneğidir. Bu problemler “vektör-maksimizasyon” problemleri olarak da bilinir. İlk defa 1951 yılında Kuhn ve Tucker tarafından ele alınmıştır. Etkin çözüm kümesinin belirlenmesi ve optimum uzlaşık çözümün belirlenmesi olarak iki aşamada incelenebilir.

Çok Ölçütlü Karar Verme ise kesikli karar uzayı içeren karar problemleri konusunda çalışır. Çok ölçütlü karar vermede karar uzayı sonlu ve ayrıktır. Bununla birlikte, Çok Ölçütlü Karar Verme ve Çok Kriterli Karar Verme sıklıkla aynı sınıf problemlerin ifade eder [Triantaphyllou, 2000].

ÇKKV Metotlarının sınıflandırılması konusundaki diğer bir yaklaşım ise Belton ve Steward [2002]’de sunulmuştur. Belton ve Steward [2002]’e göre ÇKKV Metotları kullanılan karar analiz modeline göre fayda (değer) temelli modeller (MAUT, AHP), amaç, ideal ve referans seviye modelleri (hedef programlama GP, TOPSIS, VIKOR) ve derecelendirme (outranking) modelleri (ELECTRE, PROMETHEE) olmak üzere üç ana kategoriye ayrılır.

3.3.2. Çoklu fayda teorisi – MAUT

MAUT birbiri ile çatışan birden fazla ölçütü olan problemlere maksimum faydanın elde edilmesini amaçlamaktadır.

Çok ölçütlü Fayda Teorisinde karar vericinin tercihlerini oluşturmak ve matematiksel olarak modellemesi için çok ölçütlü fayda fonksiyonu kullanılır. Bu yöntem, karar vericinin karmaşık bir problemi basit bir hiyerarşiye dönüştürmesine ve çok miktar kalitatif ve kantitatif bilgiyi belirsizlik ve risk altında değerlendirmesine izin verir [Sanayei ve ark., 2008]

Metodun uygulanışında, her alternatif için sayısal bir skor (değer), “V” atanır. Eğer $V(a) > V(b)$ ise alternatif a, alternatif b’ye tercih edilir.

$$V(a) = \sum_{i=1}^m w_i v_i \quad (3.1)$$

$v_i(a)$, alternatif a’nın i kriteri altındaki değer fonksiyonudur. w_i ise i kriterinin toplam skor içindeki ağırlığını gösterir.

Her alternatif için toplam değer skoru hesaplanır ve en yüksek skora sahip alternatif seçilir. Bununla birlikte bu durum kesinlik içeren problemler için geçerlidir. Keeny ve Raiffa (1976) bu yaklaşıma risk ve belirsizlik unsurlarını da katarak Çok Ölçütlü Fayda Teorisini geliştirdiler. Keeny ve Raiffa (1993)’de yayınladıkları kitaplarında risk içeren aksiyomları kullanan von Neumann ve Morgenstern (1947) teorilerine dayalı çok ölçütlü üstünlük modellerini ortaya koydular. Bu yaklaşım pek çok araştırmacı için çok ölçütlü üstünlük teorisi için eş anlamlı olmaya başladı. Ancak, bu yaklaşım riskin göz önüne alınmadığı çok kriterli karar problemleri için uygun bir yaklaşım değildir. Belirsizlik içermeyen durumlarda çok ölçütlü üstünlük teorisi alternatiflerin sıralı karşılaştırması ya da alternatif ikililerini karşılaştırmalı üstünlüğünün tahminine dayalı olmalıdır [Figueira ve ark, 2005].

3.3.3. Hedef programlama – GP

Lineer programlama tek amaç fonksiyonunun optimizasyonunu hedefler. Ancak doğrusal programlama birbiriyle çatışan birden çok amaç arasında optimum uzlaşık bir çözüm hedefleyen ÇKKV problemleri için yeterli olmamaktadır. ÇKKV problemlerinde kullanılan Hedef Programlama, amaç kriterini doğrudan maksimize veya minimize etmek yerine, çözümün hedef fonksiyonlarında oluşan sapmaları minimize etmeye çalışır [Güneş ve Umarusman, 2004]. Hedef programlama kullanıcıya, amacın öncelikleri (üstünlükleri) bakımından bir optimal bir çözüm sunarken, birbirine zıt amaçların amaç fonksiyonunda yer almasına fırsat verir. Hedef programlamanın teknik avantajlarından biri de hiçbir hedef gerçekleştirilebilir olmasa bile, her zaman bir çözüm sağlamasıdır. Birbirine karşıt amaçların önceliklerine göre optimal bir sonuç elde edilir ve hedeflere ulaşıp ulaşılmadığını göstermek için sapma değişkenleri dikkate alınır. Amaç hedeflerden sapmayı en aza indirmektir. Hedef programlama, planlanmış amaçları tatmin etmek ve bunlara uygun ve gerçekçi yaklaşmak için uygulanır [Dağdeviren ve ark., 2004; Jones ve Tamiz, 2010].

3.3.4. ELECTRE

ELECTRE (**E**Limination **E**t **C**hoix **T**raduisant la **R**ealite) yöntemi 1968 yılında Bernard Roy'un karar verme çalışmaları sonucunda bulunmuştur. ELECTRE yöntemleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda altı farklı ELECTRE yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler Çizelge 3.2.'de özetlenmiştir [Yürekli, 2008]

ELECTRE Yöntemleri arasında bazı farklılıklar olmasına rağmen hepsinin temelinde alternatiflerin birbiriyle karşılaştırılması ve üstün olan seçeneğin tercih edilmesi vardır. ELECTRE bir alternatif diğer alternatifle karşılaştırılarak sıralama dışı (outranking) bırakılır.

ELECTRE Metodu alternatiflerin tercih edilebilme üstünlük ilişkisinin ardışık yargıları arasından, A_j alternatifi A_k alternatifine üstünlük sağlar veya daha önemlidir

sonucunu destekleyen kanıt sayısı şeklinde tanımlanan uyumluluk indeksini ve uyumluluk indeksinin karşı tarafı olan uyumsuzluk indeksini çıkartmaktadır. Sonuç olarak ELECTRE Metodu alternatifler arasında ikili tercih edilebilirliğin üstünlük ilişkisi sistemini getirmektedir. Metot özellikle birkaç kriter ve çok sayıda alternatif içeren karar problemleri için uygundur [Ertuğ, 2009].

Çizelge 3.2. ELECTRE Yöntemleri [Yürekli,2008]

Yöntem	Yöntemi Geliştirenler	Tarih	Problem Türü
ELECTRE I	B. Roy	1968	Seçim
ELECTRE II	B. Roy, P. Bertier	1971	Sıralama
ELECTRE III	B. Roy	1978	Sıralama
ELECTRE IV	B. Roy, J. C. Hugonnard	1982	Sıralama
ELECTRE IS	B. Roy, J. M. Skalka	1985	Seçim
ELECTRE TRI	B. Roy, D. Bouyssou, W. Yu	1991-92	Atama

3.3.5. PROMETHEE

PROMETHEE Metodu (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) ilk kez 1982 yılında Brans tarafından sunulmuş, 1985’de Vincke ve Brans tarafından genişletilmiştir. PROMETHEE Yöntemi, ELECTRE gibi ikili karşılaştırma ve ikili karşılaştırmalar üzerinde tercihlerin birbirine üstünlük sağlaması sonucu en uygun seçenek veya seçenekler kümesinin oluşturulmasına dayanır. PROMETHEE I seçenekleri kısmen sıralarken, PROMETHEE II seçenekler arasında tam sıralama sağlar. Yaygın olarak kullanılan yukarıdaki iki yöntemin dışında da PROMETHEE versiyonları vardır. PROMETHEE III bir aralığa dayalı olarak sıralama yapar. PROMETHEE IV uygulanabilir çözüm kümesi sürekli olduğunda tam ya da kısmi sıralama yapar. PROMETHEE V kısıt altındaki ÇKKV problemlerini için geliştirilmiştir. PROMETHEE VI, karar vericinin kriterler konusunda kesin ağırlık değerleri vermediği durumları çözer. PROMETHEE-GDSS (Group Decision Support System) grup kararları için geliştirilmiştir. PROMETHEE-GAIA daha karmaşık karar problemleri için kullanılır. Son yıllarda Figueira vd

(2004) sıralama problemleri için PROMETHEE TRI ve nominal sınıflandırma için PROMETHEE CLUSTER yöntemlerini önermişlerdir [Behzadian ve ark. 2010].

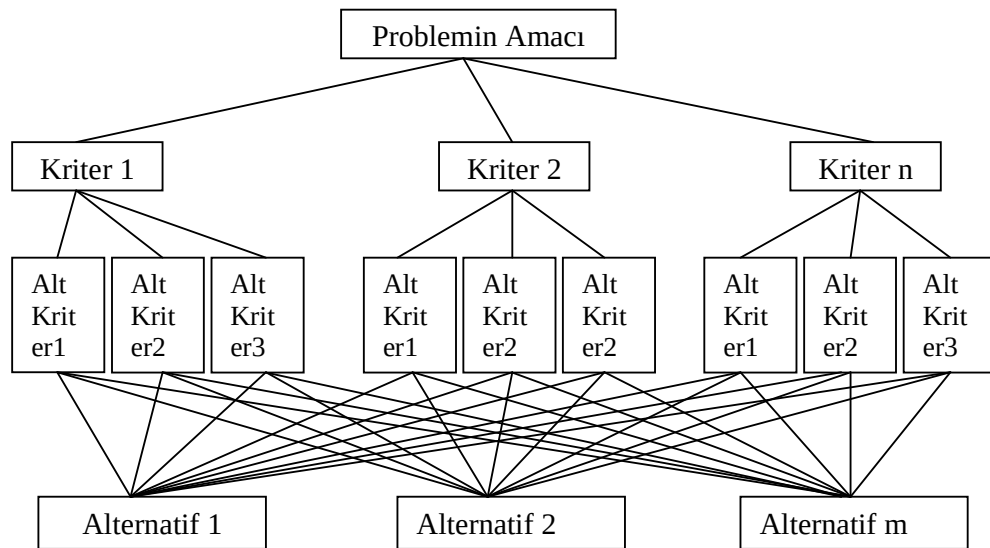
PROMETHEE Yönteminin en önemli üstünlüklerinden biri her kriter için 6 farklı tercih fonksiyonundan birinin kullanımına izin vermesidir. Tercih fonsiyonları Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. PROMETHEE Tercih Fonksiyonu Tipleri [Dağdeviren ve Eraslan, 2008]

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x < s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

3.3.6. Analitik hiyerarşi prosesi – AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi, Thomas L. Saaty tarafından yayınladığı 1980 yılından itibaren hızla yayılan bir çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Yöntem temelde karar kriterlerinin ikili karşılaştırılması ile kriter ağırlıklarının, alternatiflerin ikili karşılaştırılması ile en iyi alternatifin belirlenmesine yönelik bir metodoloji sunar. AHP seçim işleminde kriterler hiyerarşik bir yapıda ayrıştırılır ve her bir kriterin bulunduğu gruptaki diğer kriterlerle ikili karşılaştırmaları sonucu ağırlıkları hesaplanır. Hiyerarşik yapıdaki ölçüm kriterlerinin değerlendirme puanları ait oldukları ana kriterlerin ağırlıklı puanları ile çarpılıp sonuçlar toplanarak bütünsel bir puan hesaplanır [İç, 2006]. AHP karar problemini 3 seviyeli bir hiyerarşik yapı çerçevesinde ele alır: Amaç, Kriterler ve Alternatifler. Ayrıca kriterler için de ana kritere bağlı alt kriterler şeklinde hiyerarşik yapı kurulabilir (Şekil 3.3). AHP, diğer ÇKKV yöntemleri gibi birden fazla kriteri dikkate alarak en iyi çözümü hedefler ancak çok fazla kriter olması, kriterlerin karar üzerindeki etkisini azaltmaktadır. Kriter sayısının azaltılması kriter ağırlığının değiştirilmesi halinde kriterlerin sonuca etkisini artırabilmektedir. ÇKKV yöntemleriyle oluşturulacak olan modellerde kullanılacak kriter sayısının 5-7 arasında alınması sağlıklı sıralama sonuçları alınabilmesi açısından önemlidir [İç, 2006].



Şekil 3. 3. Karar hiyerarşisi

AHP, hiyerarşik yapısı oluşturulan karar verme problemini çözerken ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması, özvektörün (görelî önem vektörünün) oluşturulması, tutarlılık testi, bileşik görelî önem vektörünün hesaplanması ve karar dan oluşan beş aşamalı bir model kullanarak çözer.

AHP’de en önemli aşama kriterlerin ve alternatiflerin birbirlerine göre önemlerini belirleyebilmek için yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. Sayısal olarak ifade edilen kriterlerin her seçenek için ikili karşılaştırmalar için kriterlerin sayısal karşılıkları kullanılır. Ancak kriterlerin sayısal karşılığı olmadığı durumlarda kriterlerin birbirlerine göre üstünlüklerinin belirlenmesinde Çizelge 3.4 de gösterilen Saaty’nin 9-Nokta ölçeği kullanılır [Dağdeviren, 2002]. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ise kriterlerin kendi aralarında, alternatiflerin ise her kritere göre kendi aralarında karşılaştırılmasına dayanır. Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisinin her bir satır elemanı toplanarak bulunan (1xn) boyutlu matrisin elemanları tekrar normalize edilerek özvektör hesaplanır ve kriterlerin ağırlıklı puanları hesaplanmış olur . Öz vektörün hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan aritmetik ortalamanın yanında geometrik ortalama ve matris karesi yöntemi de kullanılabilir.

Çizelge 3.4. AHP Karşılaştırma Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Mutlak derecede önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip.
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.

Kriter ve alternatiflerin görelî önemleri belirlenmiş olsa da bu yapılan hesaplamanın doğru olduğu anlamına gelmez. AHP’de ikili karşılaştırmalarda karar vericinin

tutarsız değerlendirmelerini tespiti için tutarlılık indeksi hesaplanır. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık indeksi (Consistency Index) ile aşağıda Saaty tarafından tanımlanmış olan Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3 kullanılarak bulunur.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right\} \quad (3.2)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (3.3)$$

a_{ij} = İkili karşılaştırma matrisinde alternatif i'nin, alternatifi j'ye göre önem değeri

w_j = Göreli önem vektörünün j. Elemanı

$\lambda_{\max}$ = Matrisin en büyük özdeğeri

Tutarlılık oranı CR (Consistency Ratio) ise tutarlılık indeksi CI (Consistency Index) değerinin RI (Random Index) ile ifade edilen rassallık indeksine bölünmesi sonucu hesaplanır.

Saaty tarafından tanımlanmış RI değerleri Çizelge 3.5.'de verilmiştir. AHP yönteminin sağlıklı bir şekilde kullanımı için tutarlılık oranının değeri 0.1'den küçük olmalıdır. Tutarlılık indeksi 0,1'den büyükse ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığının sağlanması için matris yeniden değerlendirilerek tutarlı bir yapıya kavuşturulmalıdır.

Çizelge 3.5. AHP, RI (Random Index) Değerleri

Matris Boyutu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI Değerleri	0	0	0,6	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5

Alternatiflerin her kriter için göreli öneminin hesaplanması ve kriter ağırlıklarının hesaplanmasından sonra aşağıdaki eşitlik kullanılarak bileşik göreli önem vektörü hesaplanır.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

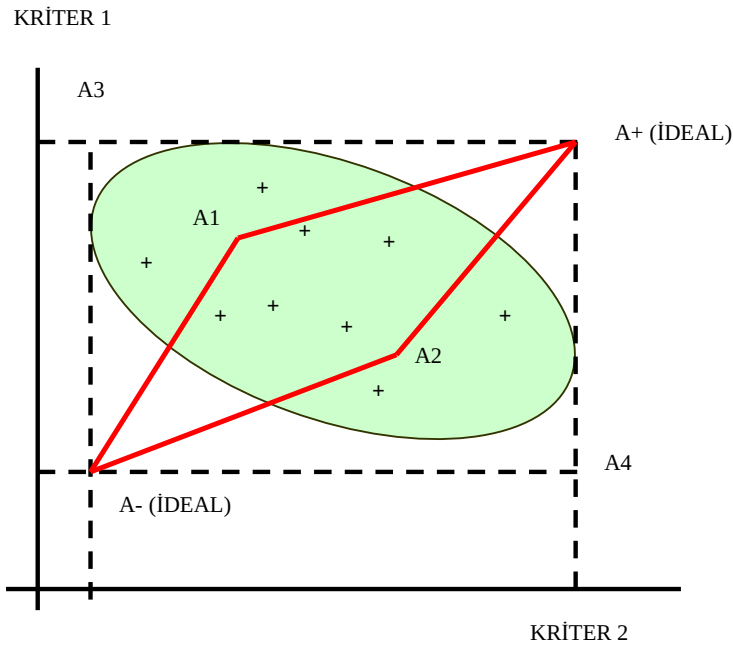
a_{mn} = m. Alternatifin, n. kritere göre özdeğer vektörü

a_n = n. Kriterin ağırlığı

Bileşik görelî önem vektöründe her alternatif için hesaplanan değeri alternatifin görelî önemini dolayısıyla bileşik görelî önem vektörünün büyükten küçüğe sıralanması aynı zamanda alternatiflerin tercih sıralamasını gösterir.

3.3.8 TOPSIS

Hwang ve Yoon tarafından 1981 tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi ideal (A^+) ve negatif ideal çözümü oluşturarak alternatiflerin ideal çözüme olan yakınlığını ve negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklığını Şekil 3.4 de görüldüğü gibi kullanarak sıralama yapar [Karaman ve ark, 2007; İç, 2006].



Şekil 3.4. TOPSIS Diyagramı [İç, 2006]

TOPSIS Yöntemi aşağıdaki aşağıdaki yedi adımdan oluşur [İç, 2006]:

- Karar matrisinin oluşturulması
- Karar matrisinin normalizasyonu
- Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması
- Pozitif ve negatif çözüm noktalarından uzaklıklarının hesaplanması
- Yakınlık (bağıl uzaklık) katsayısının hesaplanması

TOPSIS’de öncelikle kriterlerin göreceli önemleri bulunur. Sayısal olmayan kriterlerin göreceli önemlerinin bulunmasında Çizelge 3.6.’da sunulmuş olan Hwang ve Yoon’un 10-puan Ölçeği kullanılır. Daha sonra Çizelge 3.7.’de sunulduğu gibi karar matrisi oluşturulur.

Çizelge 3.6. Hwang ve Yoon’un 10-puan Ölçeği

Kriter Değerlendirme	Önemsiz	Çok az önemli	Az Önemli	Ortalama önemde	Önemli	Çok önemli	En önemli
Değer	0	1	3	5	7	9	10

Çizelge 3.7. TOPSIS Karar matrisi

Alternatifler	Kriterler			
	y ₁	y ₂	y ₃y _n	
a ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃a _{1n}	
a ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃a _{2n}	
a ₃	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
a _m	a _{m1}	a _{m2}	a _{m3}a _{mn}	

Karar matrisinde; a₁, a₂,a_m alternatifleri, y₁, y₂,y_n kullanılan karşılaştırma kriterlerini, m alternatif sayısını ve n kriter sayısını göstermektedir. Buna göre karar matrisi Eşitlik 3.4. sunulduğu gibidir.

$$A = [A_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4 de, a_{ij} alternatif i nin j kriterinde gösterdiği performansı temsil etmektedir.

Karar matrisi Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6 kullanılarak normalize edilerek Eşitlik 3.7 sunulmuş olan normalize karar matrisi R elde edilir. Eşitlik lerde B ve C , fayda ve maliyet kriterleri kümesini göstermektedir.

$$r'_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{a_j^+} \right), \quad j \in B, \quad a_j^+ = \max_i a_{ij} \quad (3.5)$$

$$r'_{ij} = \left(\frac{a_{ij}^-}{a_{ij}} \right), \quad j \in C, \quad a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (3.6)$$

$$R' = [r'_{ij}] ; \quad i:1.....m ; \quad j:1.....n \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.8 de W olarak gösterilen kriter ağırlıklarının normalize karar matrisine Eşitlik 3.9 kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisi (V) elde edilir.

$$W = [w_{ij}] = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (3.8)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Ağırlandırılmış normalize edilmiş karar matrisinde her kriter için en iyi değerler alınarak ideal çözüm kümesi, en kötü değerler alınarak ideal negatif çözüm kümesi

elde edilir. Pozitif ve negatif ideal çözüm kümelerinin matematiksel ifadeleri Eşitlik 3.10 ve Eşitlik 3.11’de sunulduğu gibidir.

Pozitif ideal çözüm:

$$A^+ = \left\{ \left[\max_{j=1, i=1, m} v_{ij} \right], \left[\max_{j=2, i=1, m} v_{ij} \right], \dots, \dots, \left[\max_{j=n, i=1, m} v_{ij} \right] \right\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (3.10)$$

Negatif ideal çözüm:

$$A^- = \left\{ \left[\min_{j=1, i=1, m} v_{ij} \right], \left[\min_{j=2, i=1, m} v_{ij} \right], \dots, \dots, \left[\min_{j=n, i=1, m} v_{ij} \right] \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (3.11)$$

Alternatiflerin İdeal ve Negatif İdeal çözüme uzaklıkları (S_i^+ ve S_i^-) Eşitlik 3.12 ve Eşitlik 3.13 kullanılarak hesaplanır.

$$S_i^+ = \left[\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

$$S_i^- = \left[\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right]^{1/2} \quad (3.13)$$

Pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık değerleri, alternatiflere ilişkin sıralamanın tespiti ve en iyi çözümün bulunması için Eşitlik 3.14 kullanılarak sıralama skorlarının (CC_i) hesaplanmasında kullanılır.

$$CC_i = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)} \quad 0 < CC_i < 1 \quad (3.14)$$

4. BULANIK KÜME TEORİSİ, BULANIK ÇKKV ve LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

Bölüm 3’de açıklanan klasik yöntemler karar sürecindeki belirsiz ve kesin unsurların varlığında yeterli olmamaktadır. Zadeh (1965) tarafından yayınlanan ünlü “Bulanık Kümeler” isimli makalede belirsizliklerin bir fonksiyon olarak matematiksel olarak ifadesi, dolayısıyla belirsizliği sistemin modellenmesine dâhil edilmesini sağlayan bulanık kümeler tanımlamasını ortaya koymuştur. Bu yeni tanımlama kısa sürede sınıflandırma ve bilgi işleme alanlarında kullanım bulmuştur.

4.1. Bulanık Küme Tanımı

Klasik kümelerde bir x elemanının kümeye ait olup olmadığı kesindir ve 0, 1 değerleri ile ifade edilir. Klasik küme teorisine göre 1’den 3’e kadar sayıları bir kümeye altında toplamak istersek $A = \{x \in R | 1 \leq x \leq 3\}$ olarak ifade ederiz ve A kümesinin üyelik fonksiyonu Eşitlik 4.1’de gösterildiği gibi olur. Bu tanımlamadan anlaşılacağı üzere $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonunun değer kümesi $\{0, 1\}$ olarak belirlenir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1; 1 \leq x \leq 3 \\ 0; \text{diğer} \end{cases} \quad (4.1)$$

Bulanık kümeler kuramına göre ise kümedeki her bir eleman, klasik küme kuramında olduğu gibi “kümeye ait” ya da “kümeye ait değil” şeklinde değil, bir üyelik fonksiyonu tanımlaması çerçevesinde belli bir dereceye kadar üye olarak tanımlanır [Öztürk ve ark. 2008].

x elemanının üyelik derecesini belirten sayısal değerini gösteren $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonunda 0 sayısı ilgili nesnenin kümenin üyesi olmadığını, 1 sayısı ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ise ilgili nesnenin kümeye kısmi üyeliğini gösterir. $\mu_A(x)$ değeri 1’e yaklaştıkça, x elemanının A ’daki üyelik derecesi artar.

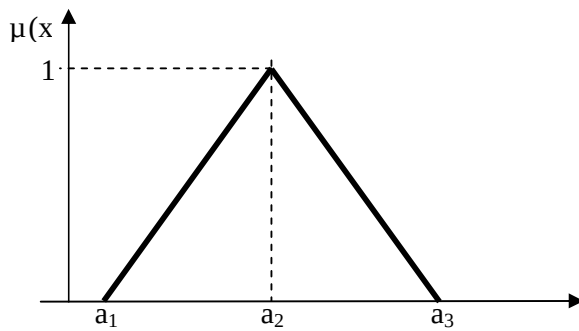
4.1.1. Bulanık sayılar

Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. Bulanık sayılar, dış bükey, normalleştirilmiş, sınır-sürekli üyelik fonksiyonları olan bir bulanık küme olarak ifade edilebilir [Öztürk ve ark. 2008]. Yaklaşık olarak 10, uzun insanlar, genç insanlar gibi kesin olmayan, subjektif, yaklaşık sayısal değerlerin ifadesinde bulanık sayılar oldukça yararlıdır.

Farklı üyelik fonksiyonlarına sahip pek çok bulanık sayı vardır. Çeşitli bulanık sayı grupları arasında en önemli grubu üçgensel ve yamuksal bulanık sayılar oluşturmaktadır. Bu sayılar isimlerini üyelik fonksiyonlarının şekillerinden alır.

Üçgen bulanık sayılarda üyelik fonksiyonu Şekil 4.1’de görüldüğü üzere üçgen şeklinde tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonunun matematiksel fadesi ise Eşitlik 4.1’de tanımlanmıştır. Üçgen bulanık sayılar üç elemandan (a_1, a_2, a_3) oluşur. Üçgen bulanık sayılar aritmetik olarak işlem kolaylığı sağlaması ve sezgisel oluşturulabilmesi nedeniyle en yaygın bulanık sayıdır.

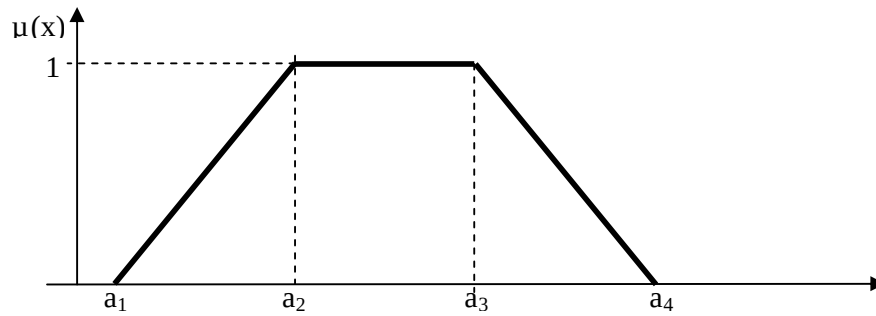
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ (x - a_1) / (a_2 - a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x) / (a_3 - a_2) & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. Üçgen bulanık sayıların şematik gösterimi.

Yamuksal (trapezoidal) bulanık sayılarda ise üyelik fonksiyonu yamuk şeklinde olup, Şekil 4.2.'de görüldüğü gibidir. Yamuksal bulanık sayılarda üyelik fonksiyonu Eşitlik 4.2'de sunulan denklemde tanımlanmıştır [İç,2006].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ (x - a_1) / (a_2 - a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x < a_3 \\ (a_3 - x) / (a_3 - a_2) & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & x > a_4 \end{cases} \quad (4.2)$$



Şekil 4.2. Yamuksal bulanık sayıların şematik gösterimi

4.1.2. Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler

A ve B (a_1, a_2, a_3) ve (b_1, b_2, b_3) olarak parametrize edilmiş iki üçgen bulanık sayı olarak farz edildiğinde, bunlar arasındaki matematiksel işlemler aşağıdaki gibi gerçekleştirilir [İç, 2006].

Toplama

$$A \oplus B = [a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4] \quad (4.3)$$

Çıkarma

$$A (-) B = [a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4] \quad (4.4)$$

Çarpma

$$A \otimes B = [a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3, a_4 \times b_4] \quad (4.5)$$

Bölme

$$A \oslash B = [a_1/b_4, a_2/b_3, a_3/b_2, a_4/b_1] \quad (4.6)$$

İki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık, Eşitlik 5.7’de verilen denklem kullanılarak “vertex metodu” ile hesaplanır. Çıkan sonuç bulanık sayı değildir.

$$d(A, B) = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 \right]} \quad (4.7)$$

4.2. Bulanık ÇKKV Metotları

Klasik ÇKKV metodlarının uygunlanması kriterlerin içerdiği kesin olmayan ve eksik bilgiler nedeniyle ciddi kısıtlara sahiptir [Kahraman, 2008]. Bellmann ve Zadeh’e göre (1970) gerçek dünyada karar verme problemlerinin çoğu amaçların kısıtlarının ve olası aksiyonlarının sonuçlarının kesin olarak bilinmediği bir çevrede gerçekleşir [Zimmerman and Zysno, 1985]. Bellman ve Zadeh [1970] ve Zimmerman [1978] 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. Literatürde bulanık ÇKKV ler arasında en yaygın kullanıma sahip olan ve bu çalışmada da kullanılan Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

4.2.1. Bulanık AHP

AHP nin uygulamasında en önemli aşama olan ikili karşılaştırmalar sırasında bulanık sayıların sezgisel olarak kullanımı oldukça kolaydır ve kullanıcıya geniş değerlendirme aralığı sunar. Kullanıcı A ve B alternatiflerinin göreceli önemlerini karşılaştırdığında A, B’den yaklaşık olarak 3 kat daha önemli ya da A’nin önemi B’nin 3 ila 5 kat arasındır gibi cümleler kurabilir. İfadelerdeki bulanıklık kesin rakamlar yerine bulanık sayılar kullanılarak AHP içerisinde rahatlıkla modellenebilir [Buckley, 1985; Güner, 2005].

Literatürde, BAHF konusunda yapılan ilk çalışmalardan biri, Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılan ve üçgensel üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış olan bulanık oranların karşılaştırılması dayalı olan çalışmadır. Laarhoven ve Pedrycz [1983] çalışmasında hesaplama adımları AHP'deki ile aynıdır. De Gran (1980) ve Lootsma (1981) tarafından genişletilen Saaty'nin ikili karşılaştırma yönteminin bulanık şekli olan bir yöntem önerilmektedir. Bu çalışmada, karar vericilerden fikirlerini üçgen bulanık sayılar ile ifade etmeleri istenmiştir. Karar kriterlerinin bulanık ağırlıkları ve her kriter için alternatiflerin bulanık ağırlıkları belirlenmiştir. Bulanık ağırlıklar ve bulanık performans değerlerinin hesaplanmasında Lootsma'nın en küçük kareler metodu kullanılmıştır.

Buckley [1985], yamuk bulanık sayıları ve performans puanlarını hesaplamada geometrik ortalama kullanarak yeni bir model geliştirmiştir. Buckley, Laarhoven ve Pedrycz'in çalışmalarında üçgen bulanık sayıları kullanılması nedeniyle kayıp verilerin oluşabileceğini ve birden çok sonuç ortaya çıkabileceğini belirtmektedir. Ayrıca, Buckley'e göre üçgen bulanık sayılar ile işlemlerin sonuçlarının her zaman yine bir üçgen bulanık sayı olmaması nedeniyle yaklaşık sonuç kullanımı zorunludur. Buckley çalışmasında ele alınan yöntemde ağırlıklar için tek bir bulanık sayı üretildiğinden veri kaybının önlendiği ifade edilmektedir.

Boender ve arkadaşları [1989], Laarhoven ve Pedrycz yöntemini modifiye etmişlerdir. Boender'in önerdiği yöntemde karar kriteri ağırlıkları logaritmik regresyon fonksiyonunun minimize edilmesi ile hesaplanır. İkinci aşamada her alternatif için öncelik her kriter için ayrı ayrı hesaplanır. Bulanık skorlar toplanarak son değer elde edilir. Bu yöntemde elde edilen sonuçların daha iyi regresyon fonksiyonu özellikleri gösterdiği ifade edilmektedir. Yöntemde Saaty'nin eşit aralıklı skalası yerine geometrik aralıklı skala kullanılmaktadır. Ancak oldukça yüksek bir hesaplama yükü oluşturmaktadır.

Chang [1996] ikili karşılaştırmalarda üçgen bulanık sayıları kullanarak ve ikili karşılaştırmaların yapay mertebe değerleri için mertebe analizi yöntemini kullanarak,

bulanık AHP'nin ele alınmasında yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Chang tarafından geliştirilen mertebe analizine dayalı AHP Yöntemi olarak isimlendirilen bu yöntem klasik AHP'nin adımlarını takip etmektedir. Bununla birlikte, Mertebe Analizine dayalı bulanık AHP yöntemi insani düşünce tarzının belirsizliğini ele alma yeteneğine sahiptir ve çok kriterli karar verme problemlerini çözmede etkilidir [Öztürk ve ark. 2008]. Basit ve etkin bir yöntem olmasından dolayı Chang'ın AHP Yöntemi en yaygın Bulanık AHP Metotlarından biridir.

Weck ve arkadaşları [1997], ürün ve proses tasarımının birleştirilmesinde karar vermenin ön aşamalarındaki veri kaybının oluşturduğu belirsizliği çözmek için klasik AHP Yöntemine bulanık matematiği ekleyerek farklı üretim döngüsü alternatiflerinin kapasite kullanımı üretim maliyeti, minimum çevresel etkiye sahip olmak gibi önceden belirlenmiş hedefler için en iyi sonucu verecek alternatifin seçimi için bir yöntem sunmuşlardır. Sonuçlar ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırılarak alternatif üretim döngüleri sıralanmaktadır.

Deng [1999] çok kriterli niteliksel analiz problemleri için oldukça basit ve uygulanabilir bir yöntem sunmuşlardır. Yöntemde bulanık küme teorisi, AHP, bulanık yapay mertebe analizi, α - kesim kavramı, ideal çözüm kavramlarını kullanmaktadır. Çalışmada bir belediye için yüklenici firma seçimi konusunda bir uygulama yapılmıştır. Çalışmanın sonunda insani karar sürecinin belirsizlik ve farklılıkları modellemek için yeterli ve karar verici için esnek ve güvenilir bir yöntem ortaya konulduğu değerlendirilmiştir.

Cheng ve arkadaşları [1999] karar vermede yaşanan bilgi kaybı problemini çözmek için silah sistemlerinin değerlendirilmesinde dilsel değişken ağırlık metoduna dayalı bir AHP yöntemi geliştirdiler. Çalışmada çok iyi, iyi, orta, zayıf ve çok zayıf olarak beş değerden oluşan dilsel ölçüt alınmış ve sayısal değerler üyelik fonksiyonları ile dilsel değerlere dönüştürülerek her kriter için skor değerleri oluşturulmuş ve AHP ile sıralama yapılmıştır.

Zhu ve arkadaşları [1999] Chang tarafından geliştirilen mertebe analizi yöntemini tartışmışlar, üçgen bulanık sayıların temel teorisini kanıtlayarak üçgen bulanık sayıların büyüklük kıyaslamalarının formülasyonunu geliştirmişler ve yöntemi bir petrol araştırma örneğine uygulamışlardır.

Leung ve Cao [2000], Bulanık AHP’de tutarlılık elde etmek için tolerans sapmalarını dikkate alan bir bulanık tutarlılık tanımı önermişlerdir. Bu yöntemde temel olarak, nispi önemin bulanık oranı -belli bir tolerans sapması ile- lokal önceliklerin üyelik derecesi üzerindeki kısıtlar olarak formüle edilir. Bulanık yerel ve genel ağırlıklar genişleme prensibi ile belirlenir ve alternatifler, maksimum minimum küme sıralama yöntemi uygulanarak genel ağırlıklara göre sıralanır.

Chan ve arkadaşları [2000] esnek üretimlerinin otomatik tasarımı konusunda simülasyon ve ÇKKV Metotlarını kullanan bütünlük bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmada esnek üretim simülasyon modellerinin sonuçlarının analizi için en uygun tasarımın seçiminde Bulanık AHP kullanılmış ve esnek üretim sistemi tasarım sürecini destekleyen uzman sistemler, bulanık sistemler, yapay sinir ağları gibi akıllı araçlar geliştirilmiştir.

Bozdağ ve diğerleri [2003] 4 farklı Bulanık Çok Kriterli Grup Karar Verme Yöntemini (Blin Modeli, Bulanık Sentez Analizi, Yager’in Ağırlıklandırılmış Amaçlar Metodu ve Bulanık AHP) somut ve somut olmayan faktörleri dikkate alarak bir Türk motor üreticisi için en iyi bilgisayar bütünlük imalat sisteminin seçiminde kullanmıştır. Çalışmanın sonunda yaklaşımların karşılaştırmalı analizine de yer verilmiştir.

Mikhailov ve Tsvetinov [2004], servis değerlendirme sürecindeki belirsizliği ve kesin olmamayı ele almak için BAHF yönteminden yararlanmışlardır. Çalışmada, servis değerlendirme süreci, karar vericilerin yargılarının bulanık sayılar ile ifade edildiği, belirsizlik altında çok kriterli karar verme problemi olarak formüle edilmiş ve doğrusal olmayan programlama dönüştürülmüştür.

Kahraman ve arkadaşları [2004], Chang'ın mertebe analizi yöntemini en yüksek müşteri memniyeti sağlayan en iyi yemek şirketinin seçimi için analitik bir araç geliştirmede kullanmışlardır. Çalışmada üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır. Yaptıkları anket çalışması ile, müşteri istek ve beklentilerine uzman görüşlerini de dahil emişler ve İstanbul'da faaliyet gösteren üç yemek firmasını değerlendirmişlerdir.

Kulak and Kahraman [2005] en iyi taşıma şirketinin belirlenmesinde çok kriterli aksiyomatik tasarım ve Chang'ın mertebe analizi yöntemini birlikte kullanmışlardır. Büyüközkan ve diğerleri belirsizlik altındaki yazılım geliştirme projeleri için şimdiki değer metodu ve Bulanık AHP'ye dayalı bir karar verme metodolojisi önermişlerdir.

Zhang ve arkadaşları [2005], alternatiflerin değerlendirilmesinde ve kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde yamuk bulanık sayıların kullanıldığı BAHF yöntemi ve hiyerarşik bulanık integral yöntemine dayanan yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Çalışmanın sonunda en iyi savaş tankı seçim problemini içeren sayısal bir örnek ele alınmıştır. Silah sisteminin birleşik değerlendirilmesi için λ -bulanık ölçeği ve Sugeno integrale dayalı yeni bir hiyerarşik bulanık integral önerilmiştir.

Wang ve arkadaşları [2006], Laarhoven ve Pedrycz çalışmalarında kullanılan bulanık logaritmik en küçük kareler metodunu gözden geçirmiş ve eksikliklerini gidererek yeni bir logaritmik en küçük kareler yöntemi önermiştir. Modifiye LLSM modeli kısıtlı bir doğrusal olmayan optimizasyon modeli olarak önerilmiştir. Çalışmada, Laarhoven ve Pedrycz (1983) ve Boender ve ark. (1989) tarafından incelenmiş olan öğretim üyesi seçim problemi tekrar incelenmiştir.

Tüysüz ve Kahraman [2006], eksik ve belirsiz bilgi altında proje risklerinin değerlendirilmesi için analitik bir araç sunmuşlardır. Proje risklerini değerlendirmede BAHF ile bir Türk firmasının bilgi teknolojisi projesinin riskini değerlendirmişlerdir. Her kıyaslama için bilgi teknolojisi uzmanları tarafından oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinde kullanılmıştır. Çalışmada, Chang

(1996) BAHP yönteminden yararlanılmıştır. Çalışmada farklı BAHP yöntemlerinin ve farklı ÇKKV metotlarının kullanımı ileride yapılacak çalışmalar olarak tavsiye edilmiştir.

Bozbura ve arkadaşları [2007] belirsizlik altında insan kaynağı göstergelerinin önceliklendirilmesinde Chang'ın Bulanık AHP Yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada ikili karşılaştırma matrisleri için bir anket çalışması yapılmış ve matrislerin oluşturulmasında geometrik ortalama kullanılmıştır. BAHP uygulanmasında 5 ana kriter altında 14 alt kriterin ele alındığı 2 kademeli karar hiyerarşisi kullanılmıştır.

Güngör ve arkadaşları [2009] personel seçimi için Bulanık AHP kullanmışlar ve sonuçları Yager'in Ağırlıklandırılmış Amaçlar Yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca çalışmada bilgisayar destekli bir karar destek sistemi de sunulmuştur.

Lee [2010] Taiwan'daki üniversitelerin enetellektüel kaynak değerlendirme modelinin oluşturulması ve değerlendirilmesi için bulanık AHP modelini önermiştir. Çalışmada, Chang'ın BAHP yönetmi kullanılmıştır.

Kaya ve Kahraman [2011], İstanbul'da 6 farklı endüstriyel alanın Çevre Etki Analizini kapsamında en uygun alanı belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada kriter ağırlıkları Bulanık AHP, en uygun alternatifin seçimi ise Bulanık ELECTRE ile yapılmıştır. Çalışmada yamuk bulanık sayılar ve Buckley'in BAHP Yöntemi kullanılmıştır.

Zeydan ve ark. (2011), bir otomotiv parçasının satınalma kararı için Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS ve VZA (Veri Zarflama Analizi) birlikte kullanmışlardır. Çalışmada kantitatif değerler VZA ile kalitatif değerler ise Bulanık AHP ile kriter ağırlıklarının Bulanık TOPSIS ile alternatif performanslarının değerlendirildiği bir yöntem izlenmektedir. Bulanık TOPSIS sonucu ortaya çıkan değerler VZA ile kalitatif değerlere dönüştürülür ve sistemin son değerlendirmesi VZA yöntemi ile gerçekleştirilir.

Bulanık AHP konusunda literatürde öne çıkan çalışmalar aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Bu yöntemler hiyerarşik yapının analizini ve bulanık küme teorisini kullanarak alternatif seçimine sistematik bir yaklaşım getirmişlerdir. Tablo 4.1.'de literatürde çeşitli yazarlar tarafından geliştirilen BAHF yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 4.1. BAHF yöntemlerinin karşılaştırılması [Büyüközkan ve ark., 2004]

Kaynak	Yöntemin Ana Özelliği	Avantaj (A) ve Dezavantajları (D)
Van Laarhoven ve Pedrycz (1983)	• Saaty'nin AHP yönteminin üçgen bulanık sayılarla genişletilmiş şeklidir. • Bulanık ağırlıkların ve bulanık performans skorlarının bulunmasında Lootsma'nın logaritmik en küçük kareler yöntemi kullanılır.	(A) Karar vericilerin görüşleri karşılaştırma matrisi ile modellenenebilir. (D) Doğrusal denklemlerde her zaman bir çözüm yoktur. (D) Küçük bir problem için bile çok fazla sayısal hesaplama gerektirir. (D) Sadece üçgen bulanık sayıların kullanılmasına izin verir.
Buckley (1985)	• Saaty'nin AHP yönteminin ikizkenar yamuk bulanık sayılar ile birlikte genişletilmiş şeklidir. • Bulanık ağırlıkları ve bulanık performans skorlarını elde etmek için geometrik ortalama yöntemi kullanılır.	(A) Bulanık duruma genişletmek kolaydır. (A) Karşılıklı karşılaştırma matrisine tek bir çözümü garanti etmektedir. (D) Çok fazla sayısal hesaplama gerektirir.
Boender vd (1989)	• Van Laarhoven ve Pedrycz'in modelinin geliştirilmiş şeklidir. • Yerel önceliklerin normalizasyonunda daha sağlam yaklaşım sunmaktadır.	(A) Çok sayıda karar vericinin görüşleri modellenenebilir. (D) Çok fazla sayısal hesaplama gerektirir.
Chang (1996)	• Sentetik derece değerleri • Basit seviye sıralaması • Birleşik toplam sıralama	(A) Daha az sayısal hesaplama gerektirir. (A) Klasik AHP'nin adımlarını izler ve ek işlemler gerektirmez. (D) Sadece üçgen bulanık sayıların kullanılmasına izin verir.
Cheng (1996)	• Bulanık standartlar geliştirir. Performans skorlarını üyelik • fonksiyonlarıyla gösterir. • Toplam ağırlığın hesaplanmasında entropi kavramlarını kullanır.	(A) Sayısal hesaplama ihtiyacı çok fazla değildir. (D) Entropi olasılık dağılımı bilindiği zaman kullanılır. Yöntem hem olasılık ve hem de olabilirlik ölçülerine dayanır.

Bu çalışmada, Chang'ın mertbe analizine dayalı Bulanık AHP Yönteminin diğer Bulanık AHP yöntemlerine göre daha kolay olması, klasik AHP'ye benzer bir metodoloji içermesi ve belirsizliği anlaşılır ve net bir şekilde ifade edebilmesi dolayısıyla kullanılmasına karar verilmiştir.

Chang Bulanık AHP Metodu

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ bir nesneler kümesi, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_3\}$ bir amaçlar kümesi olarak gösterildiğinde mertebe analizinde her nesne ele alınarak her amaç için mertebe analizi (ele alınan nesnenin amacı ne kadar gerçekleştirdiğinin belirlenmesi) yapılır. Bu şekilde her nesne için ($i = 1, 2, \dots, n$) her biri üçgen bulanık sayı olan m tane mertebe analizi değeri ($M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$) elde edilir. Chang (1996) tarafından önerilen mertebe analizine dayalı BAHP yönteminin adımları aşağıdaki tanımlanmıştır:

Tanım 1: $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$ değerleri i . nesnenin m amaçları için mertebe analizi değerleri olduğundan i . nesne için bulanık büyüklük değeri Eşitlik 4.11’de aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (4.11)$$

Burada S_i , i . amacının sentez değerini, $M_{g_i}^j$ herbir amaca yönelik mertebe analizi değerini ifade etmektedir. Formülde $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$, m adet mertebe analizinin toplamıdır.

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ matrisinin elemanları Eşitlik 4.12 yardımı ile bulanık toplama işlemi ile bulunur.

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4.12)$$

$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ ifadesi ise bulanık aritmetik kurallarına dayalı olarak Eşitlik 4.13

kullanılarak bulunur.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4.13)$$

Tanım 2: Yöntemde elde edilen mertebe analiz değerleri karşılaştırılmaktadır. Mertebe analizlerinin ikili karşılaştırılması, iki bulanık sayının karşılaştırılması olup aşağıdaki Eşitlik 4.16 göre yapılır.

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (4.14)$$

Eşitlik 4.16’da sunulan denklem M_2 ’nin M_1 ’den büyük olabilirliğini gösteren değeri ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile M_1 ve M_2 gibi iki bulanık sayı karşılaştırıldığında M_2 ’nin M_1 ’den büyük olma olabilirliği iki bulanık sayının keşişim noktasındaki üyelik fonksiyonuna eşittir.

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{yükseklik}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) \quad (4.15)$$

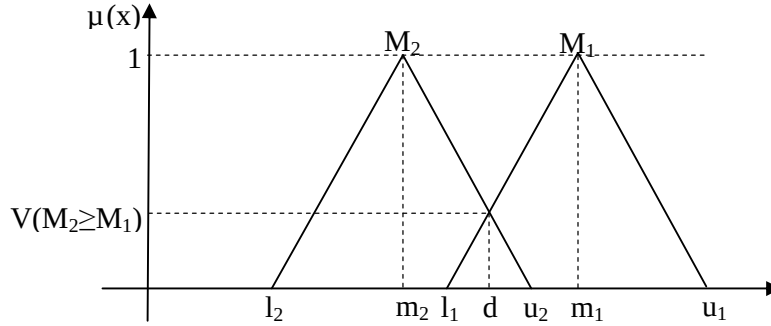
$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.16)$$

Söz konusu durumun grafiksel ifadeli Şekil 4.3.’de görüldüğü gibidir.

Tanım 3: Konveks bir bulank sayının k adet bulanık sayıdan, M_i ($i= 1,2,\dots,k$) daha büyük olabilirlik derecesiaşağıdaki şekilde tanımlanır

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots (M \geq M_k)] \quad (4.17)$$

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V(M \geq M_i) \quad i= 1, 2, 3, \dots, k \quad (4.18)$$



Şekil 4.3. M_1 ve M_2 Bulanık Mertebe Analizi Değerlerinin Karşılaştırılması (Chang, 1996)

Eşitlik (4.19) varsayılırsa

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad k = 1, 2, \dots, n; k \neq i \quad (4.19)$$

Bu durumda aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (4.20)$$

Normalizasyon ile normalize edilmiş ağırlık vektörü elde edilir. W vektörü bulanık sayı değildir. W vektörü her alternatifin ağırlığını göstermektedir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (4.21)$$

4.2.2. Bulanık TOPSIS

Performans değerleri ve kriter ağırlıkları için nümerik değerler yerine dilsel değerlendirmeleri kullanılarak bulanık ortamda TOPSIS ile çözüm sağlanması karar datasında ve grup karar verme süreçlerinde dilsel değişkenlerin değerlendirilmesi için etkin bir yaklaşım sunar [Chen, 2000]. TOPSIS yönteminde bulanık değerler kullanılarak yapılan ilk prototip çalışmalar 1989'da Negi'nin Kansas State Üniversitesi'nde yaptığı bir doktora tezi, Chen ve Hwang'lar tarafından 1992 yılında

yayınlanan bir kitap ile ortaya çıkmıştır. Triantaphyllou ve Lin [1996] beş farklı ÇKKV Metodunu (ağırlıklı toplam yöntemi, ağırlıklı ürün modeli, AHP, revize AHP ve TOPSIS) inceleyerek bu metodlarının bulanık aritmetiğe dayalı uygulamalarını geliştirmişlerdir. Çalışmada TOPSIS için nümerik bir örnek verilmiş ve bulanık sayıların sıralanması konusunda Tong ve Bonnissonne tarafından oluşturulmuş olan ve baskınlık ölçüsü kavramına dayalı sıralama yaklaşımı esas alınmıştır

Literatürde ayrıca Liang [1999], alternatiflerin ideal ve anti-ideal noktalardan uzaklığına göre sıralandığı bir bulanık ÇKKV metodu önermiştir. Çalışmada farazi bir tesis bölgesi seçim problemi üzerinde nümerik çalışma yapılmıştır.

Yeh ve arkadaşları [2000] Tayvan'da şehiriçi toplu taşıma 10 firmayı 5 ana ve 18 alt kriter altından pozitif ve negatif çözümden uzaklık ilkesine göre değerlendirmişlerdir. Çalışmada pozitif ve negatif ideal noktalardan uzaklığın hesaplanması için Hamming uzaklığı kullanılmıştır.

Chen [2000], TOPSIS yöntemini bulanık ortamda grup karar verme işlemine uygun olacak şekilde genişletmiştir. Çalışmada kriter performansları ve ağırlıkları üçgen bulanık sayılarla ifade edilen dilsel değişkenler tanımlanmıştır. Önerilen yöntemle ilgili nümerik çalışma için sistem analiz mühendisi kiralamak isteyen bir yazılım firması ele alınmıştır. Üç karar verici, üç aday ve beş seçim kriteri altında değerlendirerek en uygun aday seçilmiştir.

Chu [2002], fabrika kuruluş yeri seçimi problemi için kriter performanslarının dilsel değişkenlerle ifade edildiği Bulanık TOPSIS Yöntemi önermiştir. Çalışmada ağırlıklı normalize performans değerleri durulaştırılarak kesin değerler elde edilir. Böylece ideal ve anti ideal noktalardan uzaklığı hesaplanmasından karmaşık bulanık sayı aritmeğinden kaçınılır. Çalışmanın nümerik gösterimi farazi bir tesis yeri seçimine uygulanmıştır.

Tsaur ve arkadaşları [2002] Tayvan'da hava yollarının servis kalitesini belirlememek için bulanık sayı teorisini AHP ve TOPSIS'le birlikte kullanmışlardır. Servis

kalitesini etkileyen pek çok etken olması ve bu etkenlerin çoğunlukla soyut ölçütlere dayalı olması nedeniyle kriter performansları öncelikle bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Daha sonra bulanık sayılar ağırlık merkezi (center of area) yöntemi ile durulaştırılmış ve TOPSIS yöntemi uygulanarak alternatifler sıralanmıştır.

Chu ve Lin [2003], robot seçimi problemi için BTOPSIS uygulaması önermişlerdir. Önerilen yöntemde kriterler, subjektif değerlendirmeler sözel performans değerleri ile kıyaslanabilmeleri için Hsu ve Chen metodu (1997) ile birimsiz şekle dönüştürülür. Alternatif performansı için ağırlıklandırılmış değerlerinin üyelik fonksiyonu bulanık sayı aritmetiği ile hesaplanır. Ağırlıklandırılmış değerler durulaştırılır ve her alternatif için yakınlık katsayısı hesaplanarak sıralama yapılır. Çalışma, Liang ve Wang (1993) tarafından yapılan robot seçimi problemine uygulanmıştır.

Tiryaki ve Ahlatcioğlu [2005], Chen (2000) tarafından geliştirilen BTOPSIS algoritmasını modifiye ederek sıralamanın yanında kriter ağırlıklarının hesaplanmasını sağlamışlardır. Önerilen çalışma, İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında işlem gören menkul kıymetlerin değerlendirilmesinde ve yatırım portföyü oluşturulmasında kullanılmıştır.

Abo-Sinna ve Amer [2005] blok açısıl yapıya sahip çok amaçlı büyük ölçekli doğrusal olmayan programlama problemlerini ele almak için Bulanık TOPSIS yöntemini önermişlerdir. Çalışmada TOPSIS yöntemi geleneksel simpleks tabanlı metotlardan daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Wang ve Elhag [2006] doğrusal olmayan programlama çözüm prosedürü olarak alfa düzey kümesine dayalı Bulanık TOPSIS önermişlerdir. Önerilen yöntem Chen [2000] ve Triantaphyllou ve Lin [1996] tarafından ele alınan problemlere ve gerçek durum problemi olarak bir köprünün risk hesaplamasında kullanılmıştır. Yöntemde durulaştırma son aşamada yapılarak bulanık hesaplama ile belirsizliği probleme tam olarak yansıtılması hedeflenmektedir.

Yong [2006] tesis yeri seçimi için yeni bir Bulanık TOPSIS yaklaşımı önermiştir. Çalışmada kriter performansları üçgen bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Karmaşık bulanık sayı aritmetiğinden kaçınmak için bulanık sayılar dereceli ortalama ile kesin sayılara dönüştürülür. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin elde edilmesinde üçgen bulanık sayılarda çarpma işleminin kanonik gösterimi kullanılmıştır. Çalışmanın mevcut yöntemlerle kıyaslandığında daha etkin ve daha az karmaşık bir yöntem olduğu savunulmaktadır.

Chen ve ark. [2006], tedarik zinciri yöntemi için tedarikçi değerlendirilmesi ve seçimi için Bulanık TOPSIS önermişleridir. Çalışmada bir yüksek teknoloji firmasının yeni bir ürünü için malzeme temini konusu ele alınmıştır. Malzemenin satın alınabileceği beş farklı tedarikçi beş kriter altında değerlendirilmiştir. Çalışmada trapezoid bulanık sayılar kullanılmış ve pozitif-negatif ideal çözümlerden uzaklık verteks yöntemi ile hesaplanmıştır.

Wang ve Lee [2007] bulanık çok kriterli grup karar vermede Bulanık TOPSIS genelleştirilmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada klasik TOPSIS yönteminin adımları maksimum ve minimum noktaların tespiti dışında bulanık ortama uyarlanmıştır. Maksimum ve minimum noktaların tespiti içinse “up” ve “lo” olarak iki yeni operatör tanımlanmıştır. Maksimum ve minimum noktaların [1,0] olarak gösterilmesi yerine kriterler için maksimum ve minimum değerler tespit edilerek içinse “up” ve “lo” operatörleri tanımlanmıştır. Çalışmada hava alanı operasyon performansı konusunda bir değerlendirme yapılmıştır.

Wang ve Chang [2007], Chen [2000] tarafından önerilen Bulanık TOPSIS algoritmasını kullanarak Tayvan Hava Kuvvetleri için en uygun ilk eğitim uçağı seçimini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yedi eğitim uçağının on altı değerlendirme kriterine göre on beş değerlendirici tarafından değerlendirilmesi sonucu elde edilen sonuçlar sıralanmıştır.

Kahraman ve ark., [2007] endüstriyel robot seçimi için hiyerarşik Bulanık TOPSIS kullanımını önermişlerdir. Çalışmada, AHP ve TOPSIS ikili karşılaştırma ve

hiyerarşik uygulama açılarından ayrıldığı, hiyerarşik algoritmanın TOPSIS yönteminin güçlendireceğini ifade etmektedirler.

Ertuğrul ve Karakaşoğlu [2008], bir tekstil firması için tesis yeri seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS metotlarını önermişlerdir. Çalışmada, tesis yeri seçimine etki eden faktörler belirlendikten sonra ÇKKV yöntemleri uygulanmış ve söz konusu iki yöntemi benzerlik ve farklılıkları tartışılmıştır.

Önüt ve Soner [2008], İstanbul için katı atık aktarma bölgesi seçimi için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada beş aktarma bölgesi beş kriter altında değerlendirilmiştir. Çalışmada kriter ağırlıkları için AHP, alternatif performansları için Chen (2000) tarafından önerilen Bulanık TOPSIS kullanılmıştır.

İzadikhah [2009], pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarının hesaplanmasına Yager İndeksinin kullanıldığı ve pozitif-negatif ideal çözümlerden uzaklığın Hamming uzaklığı ile hesaplandığı üçgen bulanık sayıları kullanan Bulanık TOPSIS metodu önermişlerdir. Çalışmada bir hastaneye hemşire seçimi için beş kriter ve dört aday kullanan sayısal uygulama yapılmıştır.

Wang ve Lee [2009], alternatiflerin değerlendirilmesinde objektif ve subjektif ağırlıkların birleşik olarak kullanımını hedefleyen yeni bir Bulanık TOPSIS yöntemi öngördüler. Yöntemde ağırlıkların hesaplanmasında karar vericinin subjektif değerlendirmelerinin yanı sıra son kullanıcının değerlendirmeleri de Shannon'un Entropi Teorisine dayalı olarak objektif ağırlıklar olarak değerlendirmeye dahil edilmiştir.

Dağdeviren ve ark. [2009], savunma sektörü için beş alternatif silahın altı kritere göre değerlendirildiği bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, kriter ağırlıkları AHP ile belirlenmiş, alternatiflerin sıralanmasında ise Bulanık TOPSIS önerilmiştir. Çalışmada üçgen bulanık sayılar ve pozitif ve negatif ideal noktalardan uzaklığın hesaplanmasından vertex yöntemi kullanılmıştır.

Sun ve Lin [2009] alışveriş web sitelerinin rekabet avantajlarının Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada dört alışveriş sitesi 3 ana ve 4 alt kriter altında incelenmiştir. Çalışmada kriter ağırlıklarının hesaplanması için de Bulanık TOPSIS kullanılmıştır.

Boran ve ark. [2009], TOPSIS yaklaşımı ile sezgisel bulanık küme teorisini birleştirmişlerdir. Ortaya çıkan sezgisel bulanık TOPSIS yöntemini bir otomotiv firması için önemli bir parça için tedarikçi seçimi probleminde kullanmışlardır. Çalışmada beş alternatif tedarikçi dört kriter altında değerlendirilmiştir.

Wang ve ark., [2009], yeni bir Bulanık TOPSIS yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmada, pozitif ve negatif ideal çözüm kümeleri olarak $[1, 0]$ değerleri yerine geleneksel TOPSIS yaklaşımına uygun olarak her kriter için FPIS ve FNIS ayrı ayrı belirlenir. FPIS ve FNIS noktalarında uzaklık metrik uzaklık yaklaşımı ile hesaplanır. Çalışmada sayısal örnek olarak üç karar vericinin üç farklı bina içinde ofis seçimi yapması ve lithium-ion batarya koruyucu imalatçısı seçimi ele alınmıştır.

Malekly ve ark. [2009] köprü tasarım alternatifinin seçimi için TOPSIS kullanmışlardır. Çalışmada dört karar verici, dört kriter ve on iki alternatif ele alınmıştır. Önerilen yöntemde kriter ağırlıkları için QFD kullanılmıştır. Bulanık TOPSIS yaklaşımı ise Wang ve Elhag (2006) tarafında önerilen alfa düzey kümesine dayalı Bulanık TOPSIS yaklaşımıdır.

Sun [2010] dört laptop üreticisinin performansının altı farklı yeterlilik kriteri altında değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kriter ağırlıkları Bulanık AHP, alternatif performansları ise Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiştir.

İç ve Yurdakul [2010], hızlı kredi değerlendirme için finansal oranlar ve Bulanık TOPSIS yöntemine dayalı bir model önermişlerdir. Çalışmada önerilen modele uygun bir karar destek yazılımı da oluşturulmuştur. Söz konusu yazılımdan elde edilen bilgiler Spearmann sıralama-korelasyon testi ile kontrol edilmiş ve sonuçların gerçekçi olduğu görülmüştür.

Awasthi ve ark., [2010] tedarikçilerin çevresel performansını değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kriter ağırlıkları karar vericiler tarafından girilen bulanık ağırlık değerlerinin ortalaması olarak alınmış ve tedarikçiler Bulanık TOPSIS kullanılarak sıralanmıştır.

Önüt ve ark. [2010], İstanbul'da bir alışveriş merkezi yer seçimi için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS i beraber kullanan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kriter ağırlıkları Bulanık AHP, alternatiflerin performansları ise Bulanık TOPSIS ile hesaplanmıştır. Çalışmada 6 farklı lokasyon 8 kriter altında değerlendirilmiştir.

Torlak ve ark. [2011], Türk Havayolu Sektöründe faaliyet gösteren 4 firmanın performansını yedi kriter altında değerlendirmişlerdir. Çalışmada pozitif ve negatif ideal çözümlerden uzaklığın hesabında vertex yöntemine çok benzer bir yöntem kullanılmıştır.

Krohling ve Campanharo [2011], grup karar verme konusunda klasik TOPSIS ve Bulanık TOPSIS i birlikte kullanan bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada grup içindeki karar vericiler için önem dereceleri tanımlanmış ve grup pozitif-negatif ideal çözüm noktaları klasik TOPSIS ile hesaplanmıştır. Çalışmada Brezilya sahilinde bir petrol kirlenmesi olduğunda müdahale edecek 10 gemi 2 kriter altında incelenmiştir.

Aydoğan [2011], kaba kümeler teorisine dayalı AHP ve Bulanık TOPSIS yaklaşımı birlikte kullanan bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada, en iyi sistem performansı için dört Türk aviyonik firması beş kriter altında incelenmiştir. Önerilen yöntemde kriter ağırlıkları kaba kümeler teorisine dayalı AHP yöntemi ile performans değerlendirmesi ise Bulanık TOPSIS ile yapılmaktadır.

Kaya ve Kahraman [2011], en iyi enerji teknoloji alternatifinin seçimi konusunda Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS kullanan bir yöntem önermiştir. Çalışmada kriter ağırlıkları Chang'ın (1996) mertbe analizi yöntemine ile hesaplanmıştır. Çalışmada Bulanık AHP matrisindeki değerler durulaştırılarak tutarlılık analizi de

yapılmaktadır. Çalışmada hiyerarşik bir yapı oluşturulmuş ve yedi alternatif enerji dört ana dokuz alt kritere göre incelenmiştir.

Yukarıdaki literatür taraması bilgilerinden de görüldüğü üzere bir çok araştırmacı tarafından ortaya atılmış farklı Bulanık TOPSIS yöntemleri mevcuttur. Önerilen bu yöntemlerle ilgili hazırlanmış olan karşılaştırma tablosu Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. TOPSIS Yöntemlerinin karşılaştırılması [Kahraman ve ark. 2007]

Kaynak	Kriter Ağırlığı	Bulanık Sayı Çeşidi	Sıralama Yöntemi	Normalizasyon Yöntemi
Chen ve Hwang (1992)	Bulanık Sayılar	Yamuk	Lee ve Li'nin genel ortalama yöntemi	Doğrusal normalizasyon
Chen (2000)	Bulanık Sayılar	Üçgen	FPIS ve FNIS (1,1,1) ve (0,0,0) olarak alınmıştır.	Doğrusal normalizasyon
Chu (2002)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Liou ve Wang'ın (1992) sıralama yöntemi	Yenilenmiş Manhattan Uzaklığı
Tsaur vd (2002)	Kesin Sayılar	Üçgen	Zhao ve Govind'in (1991) ağırlık merkezi yöntemi	Vektör normalizasyonu
Zhang ve Lu (2003)	Kesin Sayılar	Üçgen	FPIS ve FNIS (1,1,1) ve (0,0,0) olarak alınmıştır.	Manhattan Uzaklığı
Chu ve Lin (2003)	Bulanık Sayılar	Üçgen	Kaufmann ve Gupta'nın (1998) önerdiği ortalama yöntemi	Doğrusal normalizasyon
Chen vd (2006)	Bulanık Sayılar	Yamuk	FPIS maksimum değerler, FNIS minimum değerler olarak alınmıştır.	Doğrusal normalizasyon

Tez çalışmasında alternatiflerin seçiminde üç farklı BTOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bunlar en yaygın Bulanık TOPSIS yöntemlerinden biri olan ve makul bir aritmetik işlem artışına karşın belirsizliğin modellenmesi konusunda oldukça etkin olan Chen (2000) tarafından önerilen yöntem, klasik TOPSIS oldukça benzer olan ve en iyi alan merkezi metoduna dayalı bir sıralama yaklaşımı kullanan yöntem ve Chen ve Hwang [1992] tarafından trapezoid bulanık sayılar için geliştirilen ve Kahraman ve arkadaşları [2007] tarafından üçgen bulanık sayılar için kullanılmış olan bulanık sayıların Lee ve Li sıralama yöntemi ile karşılaştırıldığı yöntemdir.

Yöntemler TOPSIS metodolojisi adımlarını takip etmekle birlikte durulaştırma işlemi farklı tekniklerle ve farklı aşamalarda gerçekleştirilmektedir.

Chen BTOPSIS Yöntemi

Chen (2000) tarafından geliştirilen Bulanık TOPSIS yönteminde karar vericilerin bulanık değerlendirmeleri toplanarak elde edilen karar matrisi bulanık karar matrisine dönüştürülür ve ağırlıklandırılmış bulanık matris oluşturulur. TOPSIS Yaklaşımına göre bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS) tanımlanır. Daha sonra, verteks metodu kullanılarak iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık hesaplanır. Son olarak, tüm alternatiflerin sıralamasını belirlemek için her alternatif için yakınlık katsayısı tanımlanır. Yakınlık katsayısı artması bir alternatifin bulanık pozitif ideal çözüme yaklaştığı, bulanık negatif ideal çözümdense uzaklaştığını gösterir [Chen, 2000]

Chen'in çalışmasına öncelikle kriterler ağırlıkları ve kriter performanslarının belirlenmesinde kullanılan sözel değişkenler seçilir. Karar vericiler bu sözel değişkenler yardımı ile mevcut alternatif ve kriterleri değerlendirirler. Chen'in çalışmasından kullanılan sözel değişkenler Çizelge 4.3.'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Kriter Ağırlıkları ve Kriter Performansları için kullanılan sözel değişkenler tablosu [Chen, 2000]

Kriter Ağırlıkları Sözel Değişkenler		Kriter Performansları Sözel Değişkenler Tablosu	
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)	Çok Zayıf (ÇZ)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.5)	Zayıf (Z)	(0, 0.1, 0.5)
Düşük Orta (DO)	(0.1, 0.3, 0.5)	Zayıf Orta (ZO)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)	Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Orta Yüksek (OY)	(0.5, 0.7, 0.9)	Orta İyi (Oİ)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1.0)	İyi (İ)	(0.7, 0.9, 1.0)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9, 1.0, 1.0)	Çok İyi (Çİ)	(0.9, 1.0, 1.0)

Bir karar grubunun K adet karar verici personelden oluştuğu varsayılırsa K adet karar vericinin değerlendirmesi Eşitlik 4.22 kullanılarak tek bir değere indirgenir. Eşitlikte,

x_{ij}^K , i. alternatifin, j. kriter için K. karar vericiye göre bulanık (sözel) performans değerlendirmesidir.

$$x_{ij} = \frac{1}{K} [x_{ij}^1 \oplus x_{ij}^2 \oplus \dots \oplus x_{ij}^K] \quad (4.22)$$

Benzer şekilde her kriter için K karar vericinin tarafından belirlenen ağırlıklar tek bir değere eşitlik 4.23 kullanılarak indirgenir. Eşitlikte, w_j^K , j. kriter için K. karar vericiye göre kriter ağırlığının bulanık (sözel) değerlendirmesidir.

$$w_j = \frac{1}{K} [w_j^1 \oplus w_j^2 \oplus \dots \oplus w_j^K] \quad (4.23)$$

Kriter performansları ve kriter ağırlıkları tek değere dönüştürüldükten sonra karar problemi Eşitlikler 4.24 ve 4.25 de olduğu gibi ifade edilir. Eşitliklerde, x_{ij} ve w_j sözel değişkenleri ifade eden $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $w_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ üçgen bulanık sayılar olup, D bulanık karar matrisini, W ise bulanık kriter ağırlıkları matrisini göstermektedir.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & \cdot & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdot & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

$$W = [w_1 \quad w_2 \quad \cdot \quad \cdot \quad w_n] \quad (4.25)$$

Karar matrisinin oluşturulmasından sonra kriterin fayda ya da maliyet kriteri olması dikkate alınarak Eşitlik 4.26 ve Eşitlik 4.27 kullanılır ve Eşitlik 4.28’de sunulan normalize matris oluşturulur.

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), \quad c_j^* = \max_i c_{ij}, \quad j \in B \quad (4.26)$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min_i a_{ij}, \quad j \in C \quad (4.27)$$

$$R = \left[r_{ij} \right]_{m \times n} \quad (4.28)$$

Normalize işlemi sonunda karar matrisi [0, 1] arası bulanık üçgen sayılardan oluşan bir matris haline gelir. Normalize matris Eşitlik 4.29 kullanılarak kriter ağırlık vektörü ile çarpılarak Eşitlik 4.30 da verilen ağırlıklı normalize matris elde edilir.

$$v_{ij} = r_{ij}(\cdot)w_i \quad (4.29)$$

$$V = \left[v_{ij} \right]_{m \times n} \quad i=1, 2, \dots, m \text{ ve } j=1, 2, \dots, n \quad (4.30)$$

Ağırlıklı normalize matris elemanlarını [0, 1] kapalı aralığında olması esas alınarak bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS, A^*) ve (FNIS, A^-) Eşitlik 4.31 ve 4.32 de verildiği gibi tanımlanır.

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, v_3^*, \dots, v_n^*) \quad (4.31)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, v_3^-, \dots, v_n^-) \quad (4.32)$$

Her alternatifin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıkları ise Eşitlik 4.33 ve 4.34 kullanılarak hesaplanır. Eşitliklerde $d(\cdot, \cdot)$ iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^*), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4.33)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^-), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4.34)$$

Chen metodunda iki bulanık sayı arasındaki uzaklık verteks yöntemi ile hesaplanır. Bu metoda göre $m=(m_1, m_2, m_3)$ ve $n=(n_1, n_2, n_3)$ şeklinde tanımlanan iki bulanık sayı arasındaki uzaklık Eşitlik 4.35 de verildiği gibidir.

$$d(m, n) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (4.35)$$

Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlerden uzaklığı hesaplandıktan sonra her alternatif için yakınlık katsayısı (closeness coefficient, CC_i) Eşitlik 4.36 kullanılarak hesaplanarak alternatifler sıralanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4.36)$$

Eşitlikten de açık olarak görüldüğü üzere alternatif A_i , pozitif ideal çözüme yaklaştıkça ve negatif ideal çözümden uzaklaştıkça yakınlık katsayısı CC_i 1'e yaklaşacaktır. Bu nedenle yakınlık katsayısının sıralaması aynı zamanda alternatiflerin sıralamasını da verecektir.

En iyi bulanık olmayan performans değerine dayalı BTOPSIS yöntemi

Bu yöntemde klasik TOPSIS yaklaşımına oldukça yakın bir metodoloji kullanılmaktadır. Öncelikle karar tablosunda yeralan kriterlerin bulanık performans değerleri en iyi bulanık olmayan performans değerlerinin hesaplanması ile durulaştırılmaktadır. Bu çeşit durulaştırılmış bulanık sıralamada kullanılan yöntemler genellikle maksimum ortalaması, alan merkezi ve α -kesimidir. En iyi bulanık olmayan performans değerinin bulunmasında alan merkezi yönteminin kullanılması pratik ve değerlendirmenin tercihlerinin ortaya koymasının gerektirmeyen bir yöntem sağlar [Wua ve ark. 2009]. Bu nedenle tez çalışmasında en iyi bulanık performansın

hesaplanmasında alan merkezi yöntemi kullanılmıştır. Bu durumda E_{ij} bulanık sayısı için en iyi bulanık olmayan performans değeri (best nonfuzzy performance) aşağıdaki gibi hesaplanır

$$E_{ij} = (LE_{ij}, ME_{ij}, UE_{ij})$$

$$BNP_{ij} = [(UE_{ij} - LE_{ij}) + (UE_{ij} - LE_{ij})]/3 + LE_{ij} \quad \forall i,j. \quad (4.37)$$

Durulaştırma işlemi her kriter için kesin performans değerleri elde edilir. Bundan sonrası ise Bölüm 3.3.8’de açıklanan TOPSIS yöntemi uygulanmaktadır.

Genelleştirilmiş ortalama değerine dayalı BTOPSIS yöntemi

Lee ve Li’nin genelleştirilmiş ortalama yönteminin adımları aşağıda sunulmuştur:

Adım 1: Karar matrisinin normalize edilmesi.

$$r_{ij} = \begin{cases} x_j^* / x_{ij}, & \forall j, x \text{ maliyet kriteri} \\ x_{ij} / x_j^*, & \forall j, x \text{ fayda kriteri} \end{cases} \quad (4.38)$$

Adım 2: Ağırlıklı normalize karar matrisini oluşturun.

$$V_{ij} = r_{ij}w_{ij} \quad (4.39)$$

Adım 3: Pozitif İdeal Çözüm (PIS) ve Negatif İdeal Çözüm (NIS) kümelerinin oluşturulması. Pozitif İdeal Çözüm ve Negatif İdeal Çözüm kümeleri Eşitlik 4.40 ve 4.41 de tanımlanır. Eşitliklerde $v_j^* = \max_i v_{ij}$ ve $v_j^- = \min_i v_{ij}$ olarak tanımlıdır.

$$A^* = [v_1^*, \dots, v_n^*] \quad (4.40)$$

$$A^- = [v_1^-, \dots, v_n^-] \quad (4.41)$$

v_j^* ve v_j^- bulanık olarak ifade edildiklerinden hesaplamalarında sıralama prosedürleri kullanılır. Örneğin, Lee ve Li bulanık sayı sıralama yönteminde her bulanık sayı için genelleştirilmiş bulanık ortalama elde edilir. En yüksek ve en düşük genelleştirilmiş ortalama değerleri v_j^* ve v_j^- değerlerini ortaya koyar.

Genelleştirilmiş bulanık ortalama için Eşitlik 4.42 kullanılmaktadır. Üçgen bulanık sayılar için özelleştirilmiş bulanık ortalama için ise Eşitlik 4.43 kullanılır [Kahraman ve ark., 2007].

$$M(v_{ij}) = \frac{-a_{ij}^2 - b_{ij}^2 + c_{ij}^2 + d_{ij}^2 - a_{ij}b_{ij} + c_{ij}d_{ij}}{3(-a_{ij} - b_{ij} + c_{ij} + d_{ij})} \quad (4.42)$$

$$M(v_{ij}) = \frac{-a_{ij}^2 - d_{ij}^2 - a_{ij}b_{ij} + b_{ij}d_{ij}}{3(-a_{ij} + d_{ij})} \quad (4.43)$$

Adım 4: S_i^* ve S_i^- uzaklık değerlerinin elde edilmesi

$$D_{ij}^* = |v_{ij} - v_i^*| \quad (4.44)$$

$$D_{ij}^- = |v_{ij} - v_i^-| \quad (4.45)$$

$$S_i^* = \sum_{j=1}^n D_{ij}^*, \quad i = 1, \dots, m \quad (4.46)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n D_{ij}^-, \quad i = 1, \dots, m \quad (4.47)$$

Adım 5: Yakınlık katsayısının hesaplanması

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (4.48)$$

4.3. AİY Seçiminde ÇKKV Uygulamaları – Literatür Araştırması

Alışılmamış imalat yöntemlerinde uygulamanın ve çalışma ortamının iyi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Çünkü belli çalışma şartları için oldukça uygun olan bir alışılmamış imalat metodu farklı çalışma şartlarında uygun olmamakta veya verimliliği oldukça düşebilmektedir. Bu nedenle seçimden önce uygulamanın çok iyi tanımlanmış olması doğru seçim için çok önemlidir.

Tecrübeli imalatçılar kendi alanlarında kullanılan ve bilinen alışılmamış imalat metodların seçimi konusunda çoğunlukla sezgisel olarak doğru kararlar alırlar. Ancak teknolojik değişim hızı ve çeşitlilik arttıkça ve firma içinde alışılmamış imalat konusunda uzmanlaşma azaldıkça proses seçimi ve imal edilebilirlik konularında yardım edecek sistemlere gereksinim artar [Coğun, 1993].

Alışılmamış imalat yöntemlerinin seçiminde ilk ortaya çıkan sistemler daha çok bilgisayar destekli veri tabanı yöneticiliğine dayalı proses seçim destek sistemleridir. Ebeid [1986] elektro-kimyasal işleme ve elektro erozyon ile işleme konusunda bilgisayarlı işlenebilirlik veritabanı hazırlamıştır. Söz konusu çalışmada optimum kesme şartlarının seçimi konusunda üretim atölyesinde çalışan mühendis ve araştırmacılara yardımcı olan bir sistem geliştirilmiştir.

Alışılmamış imalat yöntemleri arasında seçim yapan ilk çalışma Coğun [1993] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan sekiz alışılmamış imalat metodunu ele alınmış ve bu metodları “işlenecek şekil, malzeme, operasyonel gereklilikleri (tolerans, yüzey kalitesi,...vb), ekonomik kısıtlar” olarak dört başlık altında “malzeme, minimum yüzey kalitesi, minimum kesme kalınlığı, tolerans, minimum köşe yarıçapı, taper, minimum delik çapı, maksimum l/d oranı” kriterlerine göre kullanıcıya en uygun prosesin seçimi konusunda yardımcı olacak bir yazılım önermiştir. Çalışmada her kriter 2 karakterden oluşan bir kod sistemi ile tanımlanmıştır. Bu kod sisteminine göre çalışan ve en uygun proses alternatiflerinin elde edilmesini sağlayan bir yazılımda geliştirilmiştir.

AİY seçimi problemi çoğu kez farklı ve çakışan amaçları içeren bir çok kriterli karar problemi olarak görülür [Chakraborty ve Dey, 2006]. Bu nedenle imalat prosesi seçimi konusunda yardımcı olacak sistemlere gereksinimin artması ÇKKV metotlarının kullanımını içeren daha sistematik yaklaşımların ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Literatürde alıılmamış imalat yöntemlerinin seçimi ilgili ÇKKV metotlarının kullanıldığı ilk çalışma Yurdakul ve Çoğun [2003] tarafından yapılmıştır. Çalışmada kriter ağırlıklarının AHP ile hesaplandığı, alternatif sıralanmasının TOPSIS ile hesaplandığı bir metodoloji önerilmiştir. Çalışmada on iki alıılmamış imalat yöntemi on iki kriter altında incelenmiştir. Önerilen yöntemde önce alternatifler için ele alınan işleme örnek vakasının gerekliliklerine göre ön eleme yapılmıştır. Ön elemelerde kullanılan kriterler dışındaki kriterler için AHP ile kriter ağırlıkları tespit edilmiş, ön eleme sonrası kalan alternatifler TOPSIS ile sıralanmıştır. Çalışmada işleme yeterlilikleri ve işleme kapasitelerini gösteren tabloların ön eleme ve sıralamanın doğruluğu için çok önemli olduğu, sıralamanın ağırlık değerlerine çok duyarlı olduğu, AHP metodunun ağırlık hesabında bir yapı ve tutarlılık getirdiği, sonuçların alıılmamış imalat yöntemi seçiminde ilerleme kaydedildiği gösterdiği vurgulanmıştır.

Chakraborty ve Dey [2006], alıılmamış imalat prosesinin AHP tabanlı ve grafik bir ara yüze sahip uzman sistemle seçimini önermişlerdir. Çalışmada beş ana kriter altında on altı kriter esas alınmıştır. Tüm ağırlık ve alternatif yöntemlerin performans değerlendirmelerinde AHP yöntemine uygun olarak ikili karşılaştırmalar esas alınmıştır. Çalışmada sonuçların tatmin edici olduğu vurgulanmıştır.

Chakraborty ve Dey [2007], AİY seçimi için QFD tabanlı bir uzman sistem önermişlerdir. Çalışmada, ürün karakteristikleri (iş parçası malzemesi, şekil, yüzey kalitesi, yüzey hasarı, tolerans, köşe yarıçapı, işleme süresi, ürün ekonomisi) ve işleme karakteristiklerine (malzeme uygunluğu, şekil uygunluğu, yatırım maliyeti, takım-fikstür maliyeti, güç tüketimi, verimlilik, proses yeterliliği, takım tüketimi)

göre kalite evi matris oluşturulmuş ve alternatifler elde edilen toplam skor değerine göre sıralanmıştır. Alternatiflerin skorları grafik olarak kullanıcıya gösterilmektedir.

Chakladar ve Chakraborty [2008] tarafından önerilen yöntem alternatifler ve kriterler farklı olmakla birlikte Yurdakul ve Coğun (2003) tarafından önerilen metodoloji ile aynıdır. 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. Çalışmada Visual Basic 6.0 programı kullanılarak grafik tabanlı bir uzman sistemde oluşturulmuştur.

Chakladar ve ark. [2009] digraph teoriiyi kullanarak alışılmamış imalat yöntemleri seçimi için bir uzman sistem önermişlerdir. Çalışmada kriterlerin göreceli önemleri ve kriterlere göre alternatif proseslerin performansları digraph matris kullanılarak hesaplanmıştır. Seçim kriterlerinin göreceli önemleri için bulanık ölçeğe yakın on bir ölçülü bir skala kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda bu yöntem ile çalışan bir uzman sistem sunulmuştur.

Das ve Chakraborty [2011], imalat sürecinin doğası gereği kriterlerin karşılıklı olarak birbirini etkilemesini dikkate alarak alışılmamış imalat yöntemi seçimi problemi için Analitik Network Proses kullanımı öngören bir yöntem önermişlerdir. Sonuçlar AHP ve Digraph tabanlı alışılmamış imalat yöntemi seçme çalışmaları karşılaştırılmış ve elde edilen seçim sonuçlarının tatmin edici olduğu vurgulanmıştır.

ÇKKV Metotlarına kullanarak AIY seçim problemi konusunda yapılan çalışmaları gösteren özet literatür araştırması sonuçları Çizelge 4.4.'de özetlenmiştir.

Literatür araştırması sonuçlarından da görüleceği üzere literatürde 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 tez çalışmasının literatüre olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 4.4. AİY seçimi konusunda yapılan ÇKKV çalışmaları

Yurdakul ve Çoğun (2003)		Chakraborty ve Dey (2006)		Chakraborty ve Dey (2007)	
Kriter ağırlıklarının AHP, sıralamanın TOPSIS'le yapıldığı bir seçim metodolojisi önerilmiştir.		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	Alternatif	Kriterler
AJM WJM USM ECM ECG ECH CHM EDM WEDM EBM LBM PAC	Tolerans Yüzey Kalitesi Yüzey Hasarı Köşe Yarıçap Taper Min. Delik Çapı Min. Kes. Kal. Max. L/D veya Max. t/w İşleme Hızı Maliyet Malzeme	USM AJM ECM EDM EBM LBM PAM	Malzeme Şekil Yeterlilik Proses Yeterliliği İşleme hızı Tolerans Yüzey Kalitesi Yüzey Hasarı Köşe Yarıçap Proses Maliyeti Yatırım Takım - Fikstür Güç Tüketimi Verimlilik Takım Kullanımı Ekipman Etkisi Takım Aşınması İşleme Kirliliği Emniyet Zehirlilik	USM AJM ECM EDM EBM LBM PAM	Malzeme Şekil Yeterliliği Proses Yeterliliği Yüzey Hasarı Yüzey Kalitesi Tolerans Köşe Yarıçap Üretim Zamanı Proses Maliyeti Yatırım Takım - Fikstür Güç Tüketimi Verimlilik Takım Kullanımı
Chakladar ve Chakraborty (2008)		Chakladar, Das, Chakraborty (2009)		Das ve Chakraborty (2011)	
Grafik bir ara yüze sahip AHP-TOPSIS birleşimine dayalı uzman sistem ile gerçekleştirilmektedir.		Proses seçimi, ikili karşılaştırmaya dayalı digraph model kullanan uzman sistem ile gerçekleştirilmektedir.		ANP tabanlı bir yöntem önerilmiştir.	
Alternatifler	Kriterler	Alternatifler	Kriterler	Alternatifler	Kriterler
USM WJM AJM ECM CHM EDM WEDM EBM LBM	Malzeme Şekil Yeterliliği Tolerans ve Yüzey Kalitesi Güç Tüketimi İşleme Hızı Maliyet Verimlilik Takım - Fikstür Takım Kullanımı Emniyet	AJM USM CHM EBM ECM EDM EBM PAM	Malzeme Şekil Yeterliliği Tolerans –Yüzey Kal Güç Tüketimi İşleme Hızı Maliyet	USM AJM ECM CHM EDM EBM LBM PAM WEDM WJM	Malzeme Şekil Yeterlilik Proses Yeterliliği İşleme hızı Tolerans Yüzey Kalitesi Yüzey Hasarı Köşe Yarıçap Proses Maliyeti Yatırım Takım - Fikstür Güç Tüketimi Verimlilik Takım Kullanımı Ekipman Etkisi Takım Aşınması İşleme Kirliliği Emniyet Zehirlilik

5. AİY SEÇİM PROBLEMİ İÇİN ÇKKV METOTLARININ UYGULANMASI

Çalışmada, AİY seçim kriterleri için hiyerarşik bir model oluşturulacaktır. Bu model yardımı ile BAHP kullanılarak öncelik vektörü hesaplanacaktır. Ardından farklı BTOPSIS metodolojileri uygulanarak sonuçlar karşılaştırılacaktır. Uygulamada izlenecek yöntem aşağıda sunulmuştur:

1. Alternatif kümesinin oluşturulması
2. Kriter kümesinin oluşturulması
3. Şekil ve malzeme uygulama yeterliliği belirlenmesi
4. Karar matrisinin oluşturulması
5. BAHP kullanılarak kriter ağırlıklarının belirlenmesi
6. BTOPSIS yaklaşımları ile alternatiflerin sıralanması

5.1. Alternatif Kümesinin Oluşturulması

Endüstride pek çok alışılmamış imalat yöntemi kullanılmaktadır. Tez çalışmasında bu yöntemler arasından en yaygın kullanıma sahip olduğu değerlendirilen on dört yöntem arasında seçim yapılacağı daha önce belirtilmişti. Bu yöntemler Çizelge 5.1.'de tekrar sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Alternatif olarak incelenen alışılmamış imalat yöntemleri

No	Alışılmamış İmalat Yöntemi	Kısaltma	İngilizce isim
1	Aşındırıcı Jet ile işleme	AJM	Abrasive Jet Machining
2	Su Jeti ile İşleme	WJM	Water Jet Machining
3	Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Abrasive Water Jet Machining
4	Ultrasonik (Ses Ötesi) İşleme	USM	Ultrasonic Abrasive Machining
5	Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Rotary Ultrasonic Machining
6	Elektro Kimyasal İşleme	ECM	Electrochemical Machining
7	Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding

Çizelge 5.1. Alternatif olarak incelenen alışılmamış imalat yöntemleri

8	Elektro Kimyasal Honlama	ECH	Electrochemical Honing
9	Kimyasal İşleme (Frezeleme)	CHM	Chemical Machining
10	Elektron Işını ile İşleme	EBM	Electron Beam Machining
11	Elektro Erozyon ile İşleme	EDM	Electric Discharge Machining
12	Telli Elektro Erozyon ile Kesme	WEDM	Electric Discharge Wire Cutting
13	Lazer Işını ile İşleme	LBM	Laser Beam Machining
14	Plazma ile İşleme	PAM	Plasma Beam (Arc) Machining

5.2. Kriter Kümesinin Oluşturulması

Tez çalışmasında alternatif proseslerin performansları için on beş farklı kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler açıklamaları ile beraber aşağıda sunulmuştur:

Tolerans: Her alternatif AİY için işleme prosesi sonunda elde edilen ürünün ölçüsel doğruluğu tolerans kriteri ile gösterilmektedir. Tolerans kriterleri altında verilen değerler boyutsal tolerans değerleridir. Çalışmada kullanılan tüm değerlerde simetrik tolerans ($\pm$) esas alınmıştır ve birimi milimetredir.

Yüzey Kalitesi: İşleme prosesi sonrası elde edilen yüzeyin pürüzlülük, dalgalanma ve genel form hataları gibi nedenlerle ideal (düz ve pürüzsüz) yüzeyden uzaklaşmasıdır. Yüzey pürüzlülüğü profil ve alan pürüzlülük parametrelerine dayalı olarak ölçülebilir. Çalışmada profil ölçümleri sonunda elde edilen değerlerin mutlak değer olarak aritmetik ortalamasını alınması ile elde edilen R_a değeri esas alınmıştır ve birimi mikrometredir.

Yüzey Hasarlama: Alışılmamış imalat yöntemlerinin uygulanmasında yüzeye çarpan aşındırıcıların iş parçası yüzeyinde gömülmesi, yüzey üzerinde enerji boşalmalarının ve yüzey üzerine uygulanan kimyasalların etkisi ile işleme yüzeyinde fiziksel özellikleri ve mikroyapısında değişiklikler olabilmektedir. Yüzey Hasarlama kriteri ile değişikliklerin yüzeyden iş parçasına ne kadar nüfuz edebildikleri gösterilmektedir ve birimi milimetredir.

Köşe Yarıçap: Alışılmamış imalat yöntemlerinde aşındırıcıların dağılması, kimyasal işleme, elektro erozyon, elektro kimyasal işleme gibi kontrolü zor proseslerin doğası gereği keskin köşelerin elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Çalışmada köşe yarıçap kriteri ile işleme prosesinin sonunda elde edilebilecek minimum köşe yarıçap değeri esas alınmıştır.

Koniklik: Alışılmamış imalat yöntemlerinde işleme 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 ve birimi milimetredir.

Kesme Kalınlığı: Prosesde işlenebilecek minimum kesme kalınlığını ifade eden kriterdir ve birimi milimetredir.

L/D – t/w oranı: Deliğin çapı ile derinliği arasındaki orandır. Alışılmamış imalat yöntemlerinin dar ve derin şekillerin işlenmesindeki yetenekleri sınırlıdır. Prosesin dar ve derin şekillerin işlenmesi konusundaki performans L/D-t/w kriteri ile ifade edilmiştir. Birimsizdir.

İşleme Hızı: İmalat yöntemlerinin malzeme kaldırma hızı oldukça önemlidir. Çalışmada malzeme kaldırma performansı işleme hızı kriteri olarak ifade edilmektedir. Birimi mm³/dakikadır.

Yatırım: Prosesin uygulanması gereken ilk yatırım maliyetini gösteren kriterdir. Sözel bir değerlendirmedir ve birimsizdir.

Takım/Fikstür: Prosesin uygulanması için gerekli takımlar ve fikstürlerin maliyeti gösteren kriterdir. Sözel bir değerlendirmedir ve birimsizdir.

Takım/Fikstür Aşınması: Prosesin uygulanması esnasında kullanılan takım ve fikstürlerin aşınması sonucu ortaya çıkan maliyeti gösteren kriterdir. Sözel bir değerlendirmedir ve birimsizdir.

İşçilik: Prosesin uygulanması için öngörülen işçilik maliyetlerinin seviyesini gösteren kriterdir. Sözel bir değerlendirmedir ve birimsizdir.

Güç Tüketimi: Prosesin uygulanması için gerekli enerji, kimyasal, aşındırıcı gibi unsurların oluşturduğu maliyeti gösteren, birimsiz, sözel bir kriteridir.

5.3. Şekilsel Uygulama ve Malzeme Yeterliliklerinin Belirlenmesi

Alışılmamış olarak kullanılan prosesler oldukça önemli farklılıklar içermektedir. Bu nedenle proseslerin kullanılabilirdiği şekilsel uygulamalar ve malzeme çeşitleri oldukça farklı olabilmektedir.

Seçim probleminin ilk adımı olan alternatif kümesinin oluşturulabilmesi için hangi proseslerin hangi şekil uygulamaları ve malzemeler için kullanılabilir olduğunun belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışmada ele alınan alışılmamış imalat yöntemlerinin hangi işleme operasyonları için uygun olduğu Çizelge 5.2 gösterilmektedir.

Alternatif proseslerin hangi malzeme grupları için kullanılabilir olduğu ise Çizelge 5.3.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.2'de yer alan bilgiler büyük oranda Yurdakul ve Coğun (2003) tarafından yapılan çalışmadan elde edilen bilgilerle oluşturulmuştur. İlave prosesler için gerekli bilgiler ise Machining Data Handbook, Youssef ve El-Hofy (2008) yapılan çalışmalardan derlenen bilgilerle oluşturulmuştur.

Çizelge 5.2. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin ile yapılan proseslerin şekilsel yeterlilikleri

	Delik Delme Operasyonları						Boşluk İşleme		Kesme		Cep İşleme		Grinding	Deburring	Threading
	L/D<20			L/D>20											
PROSES	D<0,05	0,20>D>0,05	D>0,2	D<0,05	0,20>D>0,05	D>0,2	t/w<10	t/w>10	t/w<2	t/w>2	t/w<10	t/w>10			
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
WEDM	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

Çizelge 5.3. AİY malzeme uygunluk tablosu

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

5.4. Karar Matrisinin Oluşturulması

Çalışmada ele alınan her alternatif için kriterlerin performanslarının belirlenmesi ile karar matrisi oluşturulur. Kriter performanslarının değişkenler nicel ve nitel olarak ifade edilebilir

5.4.1. Nicel kriter performanslarının belirlenmesi

Tez çalışmasında nitel ve nicel kriterler birlikte değerlendirilmiştir. 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.

Çalışmada üçgen bulanık sayı kullanılmıştır. Bu nedenle nicel kriterlerin performansları üçgen bulanık sayı olarak ifade edilmiştir. Tezin önceki bölümlerinde açıklandığı üzere üçgen bulanık sayılar (l, m, u) şeklinde ifade edilmektedir. Buna uygun olarak çalışmada ele alınan nicel kriterler (alt limit, ortalama, üst limit) şeklinde ifade edilmiştir. Alt limit, ortalama ve üst limit değerleri ise aşağıdaki gibi kurgulanmıştır.

Çizelge 5.4. Nicel Kriterler (Proses Yeterlilik Kriterleri) Performans Değerleri

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (μmRa)			Yüzey Hasarılama (mm)			Köşe Yarıçap (mm)			Koniklik (mm/mm)		
Proses	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)					
Proses	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			

Alt Limit (L): proses uygun olmayan koşullarda uygulandığı durumlarda elde edilen proses değerlerini ifade eder.

Ortalama (M): Prosesin genel olarak verdiği proses değerleridir. Uygulama değerleri olarak da ifade edilebilir.

Üst Limit (U): Prosesin tecrübeli kullanıcılar tarafından çok uygun şartlarda yapıldığı durumlarda elde edilen proses değerleridir.

Çalışmada ele alınan nicel kriterlere ait performans değerleri Çizelge 5.4’de görülmektedir. Çizelge 5.5’de yer alan nicel değerler Coğun (1993), Yurdakul ve Coğun (2003), Machining Data Handbook (1980), Youssef ve El-Hofy (2005) yer alan bilgilerin derlenmesi ile oluşturulmuştur.

5.4.2. Nitel kriter performanslarının belirlenmesi

Çalışmada nicel kriterlerin yanından sözle değişkenlerle ifade edilen nitel kriterlerde kullanılmıştır. Çizelge 5.5’de yeralan değerlendirmeler subjektif, sözel değerlendirmelerin kesin ve üçgen ve trapez bulanık sayı karşılıklarını içermektedir. Çalışmada bu ölçekde yer alan üçgen bulanık sayılar esas alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Alternatif proseslerin değerlendirilmesinde kullanılan maliyet kriterleri, sözel (dilsel) değişkenlerle ifade edilmiştir. Alternatif proseslerin maliyet kriterleri (yatırım, takım/fikstür, takım/fikstür aşınması, işçilik, güç tüketimi) ve iş parçası malzemesi prosese uygunlu kriterler performanslarının gösterilmesinde Çizelge 5.5.’de sunulan çizelge esas alınmıştır.

Çizelge 5.5’de yeralan değerlendirmeler subjektif, sözel değerlendirmelerin kesin ve üçgen ve trapez bulanık sayı karşılıklarını içermektedir. Çalışmada bu ölçekde yer alan üçgen bulanık sayılar esas alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 5.5’de sunulan ölçeğe göre hazırlanan AİY seçimi problemi için esas alınan maliyet kriterlerin, alışılmamış imalat prosesin göre performans değerleri Çizelge 5.6’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.5. Nitel kriter performansların gösteriminde kullanılan ölçek [İç, 2008]

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

AİY farklı malzemeler için farklı uygunluk derecelerine sahiptir. Bu nedenle Çizelge 5.4.’de verilen bulanık ölçek kullanılarak alternatif alışılmamış imalat proseslerinin farklı malzemeler için uygunluğu derecelendirilerek Çizelge 5.7. oluşturulmuştur. Çizelge 5.7 büyük oranda Çoğun (1993), Machining Data Handbook (1980), Youssef ve El-Hofy (2008) yapılan çalışmalardan derlenen bilgilerle oluşturulmuştur.

Çizelge 5.6. Maliyet Kriterleri Performans tablosu

Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
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

Çizelge 5.7. Malzeme Uygunluğu Performans Tablosu

Malzeme	Aluminyum			Çelik			Süper Alaşım			Titanyum		
Proses	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		
Proses	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

5.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tez çalışmasından 15 kriter esas alınmıştır. Ancak karar sürecinin yapısı gereği tüm kriterler, karar verici için eşit öneme sahip değildir. Bu nedenle ele alınan kriterlerin seçim üzerindeki önem derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Önem derecelerinin belirlenmesinde en yaygın ve en bilinen metotlardan biri olan AHP yönteminin bulanık küme teorisi ile birleştirilmesi ile oluşturulan Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

BAHP, kriter ağırlıklarının belirlenmesi konusunda oldukça etkin bir metot sunmakla birlikte Bölüm 3.3.7’de detaylı olarak açıklandığı üzere AHP kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kriter sayısının 5-9 arasında tutulması önerilmektedir. Bu nedenle alışılmamış imalat yöntemlerinin Bulanık AHP ile değerlendirilmesi çalışması için öncelikle değerlendirme kriterleri için hiyerarşik yapı kurulmuştur. Kurulan hiyerarşik yapı ile değerlendirmede kullanılan 15 kriter aşağıda verilen beş ana kriter altında dağıtılmıştır (Şekil 5.1):

Ana karar kriterleri:

- Kalite
- Maliyet
- Delme Kesme Sınırları
- İşleme Hızı
- Malzeme Uygunluğu

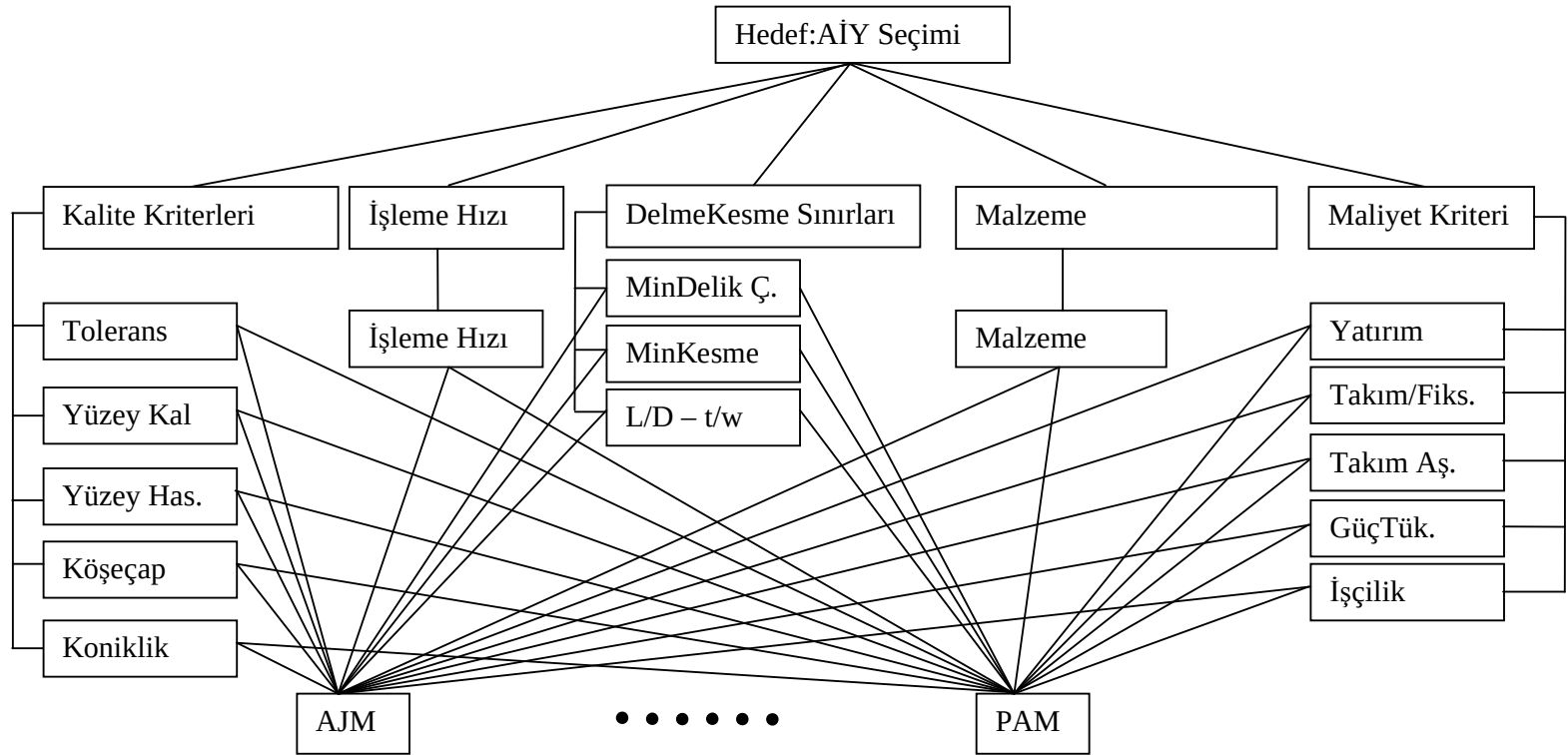
Ana karar kriterleri altında onbeş alt karar kriter bulunmaktadır (Çizelge 5.8):

- Kalite Kriteri Alt Kriterleri: Tolerans, Yüzey Kalitesi, Yüzey Hasarlama, Min Köşe Yarıçap, Koniklik
- Maliyet Kriteri Alt Kriterleri: Yatırım Maliyeti, Takım/Fikstür Maliyeti, Takım/Fikstür Aşınması, Güç Tüketimi, İşçilik Maliyeti
- Delme Kesme Sınırları Alt Kriterleri: Minimum Delik Çapı, Minimum Kesme Kalınlığı, Maksimum Delik Çapı/Derinlik Oranı (max L/D)
- İşleme Hızı ve Malzeme konusunda alt kriter mevcut değildir

Ana kriter ve alt kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Chang (1996) Mertebe Analizi yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin detayları Bölüm 4.2.1.1’de verilmiştir.

Yöntemin kullanımı için MS Excel üzerinde karar matrislerinin oluşturulması sağlayan bir program yazılmıştır. Programda kullanıcı Çizelge 5. 9’da verilen ölçeğe göre ana ve alt kriterler için ikili karşılaştırma matrislerini doldurduğunda program

Şekil 5.1. AİY Seçim Problemi Karar Hiyerarşisi



kriter ağırlığını otomatik olarak hesaplamaktadır. Tez çalışması için oluşturulan ana ve alt kriter ağırlıkları ikili karşılaştırma matrisleri Çizelge 5.10, 5.11, 5.12, 5.13’de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. Ana Kriter Alt Kriter Dağılımı

Ana Kriterler	Kalite	Delme-Kesme Sınırları	İşleme Hızı	Maliyet	Malzeme Uygunluğu
Alt Kriter 1	Tolerans	Min. Delik Çapı	İşleme Hızı	Yatırım	Malzeme
Alt Kriter 2	Yüzey Kalitesi	Min. Kesme Kalınlığı		Takım/Fikstür Maliyeti	
Alt Kriter 3	Yüzey Hasarlama	L/D – t/w oranı		Takım/Fikstür Aşınması	
Alt Kriter 4	Min. Köşe Yarıçap			İşçilik	
Alt Kriter 5	Koniklik			Proses Güç Tüketimi	

Çizelge 5.9. Kriterlerin karşılaştırılmasından kullanılan sözel değişkenler

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)

Çizelge 5.10. Ana kriter ikili karşılaştırma tablosu

	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)

Çizelge 5.11. Kalite ana kriteri, alt kriter karşılaştırma tablosu

	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)

Çizelge 5.12. Maliyet ana kriteri, alt kriter karşılaştırma tablosu

	Yatırım	Takım/Fikstür	Takım Aşınması	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)

Çizelge 5.13. Delme Kesme Sınırları ana kriteri, alt kriter karşılaştırma tablosu

	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)

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

Eşitlik 4.11, Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13 yardımı ile bulanık büyüklük değerleri hesaplanır.

$$S_1 = (3.53, 6.83, 10.00) \odot (1/58.50, 1/38.25, 1/20.16) = (0.060, 0.179, 0.496)$$

$$S_2 = (7.00, 15.00, 23.00) \odot (1/58.50, 1/38.25, 1/20.16) = (0.120, 0.393, 1.141)$$

$$S_3 = (4.70, 8.83, 12.50) \odot (1/58.50, 1/38.25, 1/20.16) = (0.080, 0.232, 0.620)$$

$$S_4 = (1.72, 2.15, 4.00) \odot (1/58.50, 1/38.25, 1/20.16) = (0.029, 0.056, 0.198)$$

$$S_5 = (3.2, 5.33, 9.00) \odot (1/58.50, 1/38.25, 1/20.16) = (0.055, 0.140, 0.446)$$

Eşitlik 4.15 ve 4.16 kullanılarak bulanık büyüklük değerleri karşılaştırılır.

$$V(S_1 \geq S_2) = \frac{0.120 - 0.496}{(0.179 - 0.496) - (0.393 - 0.120)} = 0.637 \quad V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = \frac{0.080 - 0.496}{(0.179 - 0.496) - (0.232 - 0.080)} = 0.888 \quad V(S_1 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1 \quad V(S_2 \geq S_3) = 1 \quad V(S_2 \geq S_4) = 1 \quad V(S_2 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1 \quad V(S_3 \geq S_2) = \frac{0.120 - 0.620}{(0.232 - 0.620) - (0.393 - 0.120)} = 0.756$$

$$V(S_3 \geq S_4) = 1 \quad V(S_3 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1) = \frac{0.060 - 0.198}{(0.056 - 0.198) - (0.179 - 0.060)} = 0.529$$

$$V(S_4 \geq S_2) = \frac{0.120 - 0.198}{(0.056 - 0.198) - (0.393 - 0.120)} = 0.190$$

$$V(S_4 \geq S_3) = \frac{0.080 - 0.198}{(0.056 - 0.198) - (0.232 - 0.080)} = 0.403$$

$$V(S_4 \geq S_5) = \frac{0.055 - 0.198}{(0.056 - 0.198) - (0.140 - 0.055)} = 0.633$$

$$V(S_5 \geq S_1) = \frac{0.060 - 0.446}{(0.140 - 0.446) - (0.179 - 0.060)} = 0.908$$

$$V(S_5 \geq S_2) = \frac{0.120 - 0.446}{(0.140 - 0.446) - (0.393 - 0.120)} = 0.563$$

$$V(S_5 \geq S_3) = \frac{0.080 - 0.446}{(0.140 - 0.446) - (0.232 - 0.080)} = 0.800$$

$$V(S_5 \geq S_4) = 1$$

Elde edilen bu bulanık büyüklük karşılaştırmalarından Eşitlik 4.19 kullanılarak aşağıdaki öncelik değerleri elde edilir.

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

$$d'(AK_1) = \min (0.637, 0.888, 1, 1) = 0.637$$

$$d'(AK_2) = \min (1, 1, 1, 1) = 1$$

$$d'(AK_3) = \min (1, 0.756, 1, 1) = 0.756$$

$$d'(AK_4) = \min (0.529, 0.190, 0.403, 0.633) = 0.190$$

$$d'(AK_5) = \min (0.908, 0.563, 0.800, 1) = 0.563$$

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, 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 Çizelge 5.14’de gösterilmiştir. Ancak bu değerler tez çalışması için alınan değerleridir. İkili karşılaştırma matrisleri bir Excel programı olarak hazırlanmış olup kullanıcı tercihlerine göre kriter ağırlıkları kolayca değiştirilebilmektedir. Şekil 5.1. de sunulan hiyerarşik yapıya uygun olarak kriter ve alt kriter ağırlıkları çarpıldığında elde edilen ağırlık vektörü Çizelge 5.14’de sunulmuştur ve tüm vakalar için aynı ağırlıklar kullanılmıştır.

Çizelge 5.14. Kriter ağırlıkları tablosu

Ana Kriter	KALİTE					MALİYET					DELME KESME SINIRLARI			İŞL. HIZ	MAL. Z.
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	Kes Kal.	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

Çizelge 5.15. Ağırlık vektörü

Alt Kriter	Tolerans	Yüz Kal.	Yüz Has	Köş Yc.	Konik	Yatırım	Tak./ Fiks.	Takım Aşın.	Güç Tük.	İşçilik	Delik Çapı	Kes Kal.	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

5.6. BTOPSIS Modelinin Vaka Örneklerine Uygulanması

Tez çalışmasında üç farklı BTOPSIS metodolojisi kullanılmıştır.

- 1- Chen (2000) 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.
- 2- Lee ve Li'nin geliştirilmiş ortalama hesabı ile bulanık değerlerin karşılaştırıldığı BTOPSIS yaklaşımı
- 3- Alan merkezi yöntemi ile kriterlerin en iyi bulanık olmayan performans değerlerine göre kriter performanslarının hesaplandığı BTOPSIS yaklaşımı

Söz konusu yöntemler literatürde daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan vakalara uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar genellikle kriterlerin dilsel performans değerlerine dayalıdır. Kriterlerle ilgili nicel değerler kullanılmamıştır. Bu nedenle tez çalışmasında ele alınan vaka örnekleri Yurdakul ve Çoğun (2003) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır.

5.6.1. Vaka çalışması 1

Johnson [1984] şanzumanlarda kullanılan dahili bir dişliye üç adet yağlama deliği açılmasına ihtiyaç duyan bir Amerikan otomotiv imalatçısı için lazer delmenin kullanılmasını incelemiştir.

Dişli HRC 60 kadar sertleştirilmiş sıcak dövme toz çelik 4662'den imal edilmiştir. Bu uygulama için önce karbür kullanılmıştır. Ancak yüksek kırılma ve aşınma oranları nedeniyle delik başına 1,5 dolarlık tolere edilemez bir maliyet ortaya çıkmıştır. Lazer delmeye geçildikten sonra ise delik maliyeti 10 sent/delik'e düşmüştür. Bu proses için gereksinimler aşağıda sunulmuştur:

İş malzemesi	Çelik
Şekilsel Yeterlilik	Delik delme
Proses Yeterlilik	Çap = 1,52 mm
	tolerans = 0,5mm
	koniklik < 0,05 mm/mm

BTOPSIS Chen Metodu - Vaka 1

Yöntem detayları Bölüm 4.2.2.1 de açıklanmıştır. Yöntem özetle aşağıdaki adımları içermektedir.

1. Alternatif proses kümesinin oluşturulması
2. Karar matrisinin oluşturulması
3. Karar matrisinin normalize edilmesi
4. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması
5. İdeal çözümden uzaklıkların hesaplanması
6. Yakınlık Katsayılarının hesaplanması

Adım 1 Alternatif proses kümesinin oluşturulması. Çizelge 5.2. göre delik delme prosesi için uygun prosesler, Çizelge 5.3. göre çelik için uygun prosesler ve Çizelge 5.5. göre vaka 1 için verilen çap, tolerans ve L/D değerlerine göre uygun prosesler seçilir. Bu durumda vaka 1 için alternatif prosesler AJM, AWJM, RUSM, ESM, EDM, EBM ve LBM prosesleridir.

Adım 2 Karar matrisinin oluşturulması. Tez çalışmasında, esas alınan karar matrisi Bölüm 5.4. elde edilen karar matrisidir. Çizelge 5.5., 5.6. ve 5.7. yeralan kriter performans değerleri kullanılarak alternatif kümesi için kriter performans değerlerini içeren karar matrisi oluşturulur. Vaka çalışması 1 için oluşturulan karar matrisi Çizelge 5.16'da sunulmuştur.

Çizelge 5.16. Vaka 1 karar matrisi

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlama (mm)			Köşe Yarıçap (mm)			Taper (mm/mm)		
	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,120	0,050	0,030	1,250	0,600	0,250	0,0300	0,0250	0,0200	0,250	0,200	0,150	0,006	0,005	0,004
AWJM	0,060	0,040	0,026	0,400	0,300	0,200	0,0300	0,0250	0,0200	0,600	0,500	0,400	0,004	0,003	0,003
RUSM	0,022	0,012	0,008	0,750	0,500	0,250	0,0300	0,0250	0,0250	0,090	0,080	0,070	0,005	0,004	0,003
ECM	0,100	0,050	0,025	1,500	1,000	0,200	0,0060	0,0050	0,0040	0,250	0,200	0,150	0,003	0,002	0,001
EDM	0,100	0,025	0,010	3,000	2,000	0,300	0,0300	0,0200	0,0100	0,500	0,400	0,300	0,003	0,002	0,001
EBM	0,030	0,020	0,010	4,000	3,000	1,000	0,0300	0,0250	0,0250	0,350	0,250	0,150	0,025	0,020	0,015
LBM	0,030	0,020	0,010	1,500	1,000	0,400	0,1500	0,1000	0,0500	0,600	0,500	0,400	0,060	0,050	0,040

Çizelge 5.16 (devam). Vaka 1 karar matrisi

Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
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
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
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
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
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
Kriterler	Delik Çapı (mm)			Kesme Kalınlığı (mm)			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı (mm ³ /dak)			Malzeme		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,16	0,15	0,14	0,15	0,10	0,09	8,00	10,00	12,00	20,00	50,00	200,00	5,00	6,00	7,00
AWJM	0,16	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	25,00	30,00	35,00	300,00	600,00	2000,00	5,00	6,00	7,00
RUSM	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	160,00	180,00	200,00	400,00	800,00	2400,00	5,00	6,00	7,00
ECM	0,60	0,50	0,40	0,11	0,10	0,09	25,00	30,00	35,00	500,00	2000,00	14000,0	8,00	9,00	10,00
EDM	0,16	0,15	0,14	0,06	0,05	0,04	25,00	30,00	35,00	100,00	800,00	1300,00	8,00	9,00	10,00
EBM	0,10	0,04	0,04	0,10	0,04	0,04	12,00	15,00	18,00	0,30	2,00	6,00	5,00	6,00	7,00
LBM	0,06	0,05	0,04	0,11	0,10	0,09	17,00	20,00	23,00	0,10	2,00	5,00	5,00	6,00	7,00

Adım 3 Karar matrisinin normalize edilmesi.

Karar matrisi elemanları fayda ve maliyet kriteri olmaları değerlendirilerek fayda kriteri için Eşitlik 4.27 ve maliyet kriteri olarak değerlendirilen kriterler içinse Eşitlik 4.28 kullanılarak karar matrisi normalize edilir.

Bu durumda tolerans, yüzey kalitesi, yüzey hasarlama, min köşe yarıçap, koniklik, yatırım, takım/fikstür maliyeti, takım aşınması, güç tüketimi, işçilik, minimum delik çapı, minimum kesme kalınlığı kriterlerinin artmasının istenmeyen bir durum olduğu dikkate alınarak bu kriterler maliyet kriteri, L/D - t/w oranı, işleme hızı, malzeme uygunluğu ise fayda kriteri olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada maliyet kriteri niteliğinde olan tolerans, yüzey kalitesi, yüzey hasarlama, min köşe yarıçap, koniklik, minimum delik çapı, minimum kesme kalınlığı

performans değerleri alt limit, ortalama ve üst limit değerleri esas alınarak oluşturulduğundan bu değerlerin normalizasyonu için maliyet kriterlerinin normalizasyonunda kullanılan eşitlik 4.28 aşağıdaki aşağıdaki şekilde modifiye edilmiş ve normalize matrisi oluşturulmasında eşitlik 5.1 kullanılmıştır. Vaka 1 için elde edilen normalize matris Çizelge 5. 17’de sunulmuştur.

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{a_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (5.1)$$

Çizelge 5.17. Vaka 1 normalize matrisi

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,067	0,160	0,267	0,160	0,333	0,800	0,1333	0,1600	0,2000	0,280	0,350	0,467	0,167	0,200	0,250
AWJM	0,133	0,200	0,308	0,500	0,667	1,000	0,1333	0,1600	0,2000	0,117	0,140	0,175	0,250	0,333	0,333
RUSM	0,364	0,667	1,000	0,267	0,400	0,800	0,1333	0,1600	0,1600	0,778	0,875	1,000	0,200	0,250	0,333
ECM	0,080	0,160	0,320	0,133	0,200	1,000	0,6667	0,8000	1,0000	0,280	0,350	0,467	0,333	0,500	1,000
EDM	0,080	0,320	0,800	0,067	0,100	0,667	0,1333	0,2000	0,4000	0,140	0,175	0,233	0,333	0,500	1,000
EBM	0,267	0,400	0,800	0,050	0,067	0,200	0,1333	0,1600	0,1600	0,200	0,280	0,467	0,040	0,050	0,067
LBM	0,267	0,400	0,800	0,133	0,200	0,500	0,0267	0,0400	0,0800	0,117	0,140	0,175	0,017	0,020	0,025
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,333	0,500	1,000	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,333	0,500	1,000	0,400	0,500	0,667
AWJM	0,200	0,250	0,333	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	1,000	0,500	0,667	1,000
RUSM	0,200	0,250	0,333	0,125	0,143	0,167	0,125	0,143	0,167	0,250	0,333	0,500	0,286	0,333	0,400
ECM	0,100	0,111	0,125	0,111	0,125	0,143	0,250	0,333	0,500	0,100	0,111	0,125	0,250	0,286	0,333
EDM	0,111	0,125	0,143	0,100	0,111	0,125	0,100	0,111	0,125	0,250	0,333	0,500	0,500	0,667	1,000
EBM	0,100	0,111	0,125	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,250	0,333	0,500	0,222	0,250	0,286
LBM	0,111	0,125	0,143	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,222	0,250	0,286
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,219	0,233	0,250	0,233	0,350	0,389	0,040	0,050	0,060	0,00	0,00	0,01	0,50	0,60	0,70
AWJM	0,219	0,233	0,250	0,219	0,233	0,250	0,125	0,150	0,175	0,02	0,04	0,14	0,50	0,60	0,70
RUSM	0,583	0,700	0,875	0,583	0,700	0,875	0,800	0,900	1,000	0,03	0,06	0,17	0,50	0,60	0,70
ECM	0,058	0,070	0,088	0,318	0,350	0,389	0,125	0,150	0,175	0,04	0,14	1,00	0,80	0,90	1,00
EDM	0,219	0,233	0,250	0,583	0,700	0,875	0,125	0,150	0,175	0,01	0,06	0,09	0,80	0,90	1,00
EBM	0,350	0,875	1,000	0,350	0,875	1,000	0,060	0,075	0,090	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,70
LBM	0,583	0,700	0,875	0,318	0,350	0,389	0,085	0,100	0,115	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,70

Adım 4 Ağırlıklı normalize matrisin oluşturulması.

Normalize matris, eşitlik 4.29 kullanılarak ağırlık vektörü ile ağırlıklı normalize matris bulunur. Vaka 1 için Çizelge 5.17 de sunulan normalize matris, Çizelge 5.15’de sunulan ağırlık vektörü ile çarpılarak, Çizelge 5.18 de sunulan ağırlıklı normalize matris elde edilir.

Çizelge 5.18. Vaka 1 ağırlıklı normalize matris

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,004	0,010	0,016	0,009	0,018	0,044	0,006	0,007	0,009	0,004	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007
AWJM	0,008	0,012	0,019	0,028	0,037	0,055	0,006	0,007	0,009	0,002	0,002	0,003	0,007	0,009	0,009
RUSM	0,022	0,040	0,061	0,015	0,022	0,044	0,006	0,007	0,007	0,012	0,014	0,016	0,006	0,007	0,009
ECM	0,005	0,010	0,019	0,007	0,011	0,055	0,029	0,034	0,043	0,004	0,006	0,007	0,009	0,014	0,028
EDM	0,005	0,019	0,049	0,004	0,006	0,037	0,006	0,009	0,017	0,002	0,003	0,004	0,009	0,014	0,028
EBM	0,016	0,024	0,049	0,003	0,004	0,011	0,006	0,007	0,007	0,003	0,004	0,007	0,001	0,001	0,002
LBM	0,016	0,024	0,049	0,007	0,011	0,028	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,000	0,001	0,001
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,035	0,052	0,104	0,021	0,027	0,041	0,009	0,011	0,013	0,018	0,026	0,053	0,005	0,006	0,008
AWJM	0,021	0,026	0,035	0,021	0,027	0,041	0,009	0,011	0,013	0,013	0,018	0,053	0,006	0,008	0,012
RUSM	0,021	0,026	0,035	0,010	0,012	0,014	0,008	0,009	0,011	0,013	0,018	0,026	0,004	0,004	0,005
ECM	0,010	0,012	0,013	0,009	0,010	0,012	0,017	0,022	0,033	0,005	0,006	0,007	0,003	0,004	0,004
EDM	0,012	0,013	0,015	0,008	0,009	0,010	0,007	0,007	0,008	0,013	0,018	0,026	0,006	0,008	0,012
EBM	0,010	0,012	0,013	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,013	0,018	0,026	0,003	0,003	0,004
LBM	0,012	0,013	0,015	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,018	0,026	0,053	0,003	0,003	0,004
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,006	0,006	0,006	0,005	0,008	0,009	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,003	0,090	0,107	0,125
AWJM	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006	0,001	0,002	0,002	0,005	0,010	0,034	0,090	0,107	0,125
RUSM	0,015	0,018	0,022	0,014	0,016	0,020	0,009	0,010	0,011	0,007	0,014	0,041	0,090	0,107	0,125
ECM	0,001	0,002	0,002	0,007	0,008	0,009	0,001	0,002	0,002	0,009	0,034	0,240	0,143	0,161	0,179
EDM	0,006	0,006	0,006	0,014	0,016	0,020	0,001	0,002	0,002	0,002	0,014	0,022	0,143	0,161	0,179
EBM	0,009	0,022	0,025	0,008	0,020	0,023	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,090	0,107	0,125
LBM	0,015	0,018	0,022	0,007	0,008	0,009	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,090	0,107	0,125

Adım 5 İdeal çözümünden uzaklıkların hesaplanması. Bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS) değerleri Eşitlik 4.31 ve 4.32 de tanımlanmıştır. Buna göre FPIS (A^*) ve FNIS (A^-) değerleri aşağıdadır.

$$A^* = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1)]$$

$$A^- = [(0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0)]$$

Oluşturulan ağırlıklandırılmış Normalize karar matrisine göre tüm alternatiflerin her kriter için sonra bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS) ve bulanık negatif ideal çözüm değerlerine uzaklıkları (FNIS) Eşitlik 4.35 kullanılarak hesaplanır. Vaka 1 için hesaplanan bulanık pozitif ve bulanık negatif ideal çözüm kümesinden uzaklıklar Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.20 da sunulmuştur.

Çizelge 5.19 Bulanık pozitif ideal çözümünden uzaklık

FPIS Uzaklık D*	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,990	0,976	0,993	0,994	0,994	0,937	0,970	0,989
AWJM	0,987	0,960	0,993	0,998	0,991	0,973	0,970	0,989
RUSM	0,959	0,973	0,994	0,986	0,993	0,973	0,988	0,990
ECM	0,989	0,976	0,965	0,994	0,983	0,988	0,990	0,976
EDM	0,976	0,985	0,990	0,997	0,983	0,987	0,991	0,993
EBM	0,970	0,994	0,994	0,995	0,999	0,988	0,950	0,960
LBM	0,970	0,985	0,998	0,998	0,999	0,987	0,950	0,960
FPIS Uzaklık D*	Güç Tüketim	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik	
AJM	0,968	0,994	0,994	0,992	0,999	0,998	0,893	
AWJM	0,972	0,991	0,994	0,995	0,998	0,983	0,893	
RUSM	0,981	0,996	0,982	0,983	0,990	0,980	0,893	
ECM	0,994	0,996	0,998	0,992	0,998	0,912	0,839	
EDM	0,981	0,991	0,994	0,983	0,998	0,987	0,839	
EBM	0,981	0,997	0,981	0,983	0,999	1,000	0,893	
LBM	0,968	0,997	0,982	0,992	0,999	1,000	0,893	

Çizelge 5.20 Bulanık negatif ideal çözümünden uzaklık

FNIS Uzaklık D-	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,011	0,028	0,007	0,006	0,006	0,070	0,031	0,011
AWJM	0,014	0,041	0,007	0,002	0,009	0,028	0,031	0,011
RUSM	0,044	0,030	0,007	0,014	0,007	0,028	0,012	0,010
ECM	0,013	0,033	0,036	0,006	0,019	0,012	0,010	0,025
EDM	0,030	0,022	0,012	0,003	0,019	0,013	0,009	0,007
EBM	0,033	0,007	0,007	0,005	0,001	0,012	0,055	0,045
LBM	0,033	0,018	0,002	0,002	0,001	0,013	0,055	0,045

Çizelge 5.20 (devam) Bulanık negatif ideal çözümden uzaklık

FNIS Uzaklık D-	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik
AJM	0,035	0,007	0,006	0,008	0,001	0,002	0,108
AWJM	0,033	0,009	0,006	0,005	0,002	0,021	0,108
RUSM	0,020	0,004	0,018	0,017	0,010	0,025	0,108
ECM	0,006	0,004	0,002	0,008	0,002	0,140	0,162
EDM	0,020	0,009	0,006	0,017	0,002	0,015	0,162
EBM	0,020	0,003	0,020	0,019	0,001	0,000	0,108
LBM	0,035	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,108

Adım 6 Yakınlık katsayısının hesaplanması. Her alternatif için kriterlere ait FPIS ve FNIS kümelerinden uzaklık değerleri Eşitlik 4.33 ve Eşitlik 4.34 kullanılarak toplanır ve alternatiflerin FPIS-FNIS kümelerinden toplam uzaklık değerleri hesaplanır. Toplam uzaklık değeri kullanılarak Eşitlik 4.36 vasıtası ile yakınlık katsayısı (closeness coefficient, CC_i) hesaplanarak alternatiflerin sıralanması yapılır. Yakınlık katsayısının büyükten küçüğe sıralanması aynı zamanda alternatif alışılmamış imalat proseslerinin de uygunluk sırasını verecektir.

Çizelge 5.21. Vaka 1 - Bulanık ideal çözümlerden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S^*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S^*	Yakınlık Katsayısı $S^-/[(S^+)+(S^-)]$	Sıralama
AJM	14,682	0,338	0,02247	5
AWJM	14,688	0,328	0,02184	7
RUSM	14,659	0,355	0,02365	2
ECM	14,590	0,477	0,03163	1
EDM	14,674	0,346	0,02303	3
EBM	14,683	0,336	0,02235	6
LBM	14,677	0,344	0,02289	4

Genelleştirilmiş ortalamaya dayalı BTOPSIS - Vaka 1

Yöntem detayları Bölüm 4.2.2.3 de açıklanmıştır. Yöntem özetle aşağıdaki adımları içermektedir.

1. Alternatif proses kümesinin oluşturulması
2. Karar matrisinin oluşturulması

3. Karar matrisinin normalize edilmesi
4. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması
5. Genelleştirilmiş ortalama değerlerin hesaplanması
6. İdeal çözümden uzaklıkların hesaplanması
7. Yakınlık Katsayılarının hesaplanması

Vaka 1 için İlk dört adım, alternatif kümesi, karar matrisi, normalize matris, ağırlıklı normalize matris Bölüm 5.6.1.1’de elde edilenlerle aynıdır. Yöntem adım 5’den itibaren farklılaşmaya başlamaktadır.

Adım 5 genelleştirilmiş ortalama değerlerin hesaplanması. Bulanık değerlerin karşılaştırılması amacı ile Eşitlik 4.43 kullanılarak genelleştirilmiş ortalama değerler hesaplanır. Genelleştirilmiş ortalama değerler Çizelge 5.22’de sunulmuştur.

Çizelge 5.22 Vaka 1 Genelleştirilmiş ortalama değerler

Genelleştirilmiş Ortalama (M)	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçapı	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,010	0,024	0,007	0,006	0,006	0,064	0,030	0,011
AWJM	0,013	0,040	0,007	0,002	0,009	0,027	0,030	0,011
RUSM	0,041	0,027	0,006	0,014	0,007	0,027	0,012	0,010
ECM	0,011	0,024	0,035	0,006	0,017	0,012	0,010	0,024
EDM	0,024	0,015	0,010	0,003	0,017	0,013	0,009	0,007
EBM	0,030	0,006	0,006	0,005	0,001	0,012	0,050	0,040
LBM	0,030	0,015	0,002	0,002	0,001	0,013	0,050	0,040
Genelleştirilmiş Ortalama (M)	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik	
AJM	0,032	0,006	0,006	0,008	0,001	0,002	0,107	
AWJM	0,028	0,009	0,006	0,005	0,002	0,017	0,107	
RUSM	0,019	0,004	0,018	0,017	0,010	0,021	0,107	
ECM	0,006	0,004	0,002	0,008	0,002	0,094	0,161	
EDM	0,019	0,009	0,006	0,017	0,002	0,013	0,161	
EBM	0,019	0,003	0,019	0,017	0,001	0,000	0,107	
LBM	0,032	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,107	

Adım 6 ideal çözümden uzaklıkların hesaplanması.

En yüksek genelleştirilmiş ortalama değer ve en düşük genelleştirilmiş ortalama değer pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm kabul edilir. Eşitlik 4.44 ve 4.45

kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklık değerleri hesaplanır. Bu eşitlikler kullanılarak Vaka 1 için hesaplanan pozitif ve negatif çözümden uzaklık değerleri Çizelge 5.23 ve Çizelge 5.24’de sunulmuştur.

Çizelge 5.23 Vaka 1 - Pozitif ideal çözümden uzaklık

Pozitif İdeal Çözümden Uzaklık D*	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yançap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,031	0,016	0,028	0,008	0,011	0,000	0,021	0,029
AWJM	0,028	0,000	0,028	0,012	0,009	0,037	0,021	0,029
RUSM	0,000	0,013	0,029	0,000	0,010	0,037	0,038	0,031
ECM	0,030	0,015	0,000	0,008	0,000	0,052	0,040	0,017
EDM	0,017	0,024	0,025	0,011	0,000	0,051	0,041	0,033
EBM	0,011	0,034	0,029	0,009	0,016	0,052	0,000	0,000
LBM	0,011	0,024	0,033	0,012	0,017	0,051	0,000	0,000
Pozitif İdeal Çözümden Uzaklık D*	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik	
AJM	0,000	0,002	0,013	0,010	0,010	0,093	0,054	
AWJM	0,004	0,000	0,013	0,012	0,009	0,078	0,054	
RUSM	0,013	0,005	0,001	0,001	0,000	0,074	0,054	
ECM	0,026	0,005	0,017	0,009	0,009	0,000	0,000	
EDM	0,013	0,000	0,013	0,001	0,009	0,082	0,000	
EBM	0,013	0,006	0,000	0,000	0,009	0,094	0,054	
LBM	0,000	0,006	0,001	0,009	0,009	0,094	0,054	

Çizelge 5.24 Vaka 1 - Negatif ideal çözümden uzaklık

Negatif İdeal Çözümden Uzaklık D*	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yançap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,000	0,018	0,005	0,004	0,005	0,052	0,020	0,004
AWJM	0,003	0,034	0,005	0,000	0,008	0,016	0,020	0,004
RUSM	0,031	0,021	0,004	0,012	0,007	0,016	0,003	0,002
ECM	0,001	0,019	0,033	0,004	0,017	0,000	0,001	0,017
EDM	0,014	0,009	0,008	0,001	0,017	0,001	0,000	0,000
EBM	0,020	0,000	0,004	0,003	0,001	0,000	0,041	0,033
LBM	0,020	0,009	0,000	0,000	0,000	0,001	0,041	0,033
Negatif İdeal Çözümden Uzaklık D*	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik	
AJM	0,026	0,003	0,004	0,002	0,000	0,002	0,000	
AWJM	0,022	0,006	0,004	0,000	0,001	0,017	0,000	
RUSM	0,013	0,001	0,016	0,011	0,010	0,021	0,000	
ECM	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,094	0,054	
EDM	0,013	0,006	0,004	0,011	0,001	0,013	0,054	
EBM	0,013	0,000	0,017	0,012	0,000	0,000	0,000	
LBM	0,026	0,000	0,016	0,003	0,001	0,000	0,000	

Adım 7 yakınlık katsayılarının hesaplanması.

Eşitlik 4.46 ve 4.47 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümlerden uzaklık değerleri hesaplanır.

Eşitlik 4.48 kullanılarak yakınlık katsayısı hesaplanır.

Vaka 1 için uzaklık değerleri ve yakınlık katsayısı Çizelge 5.25 de sunulmuştur.

Çizelge 5.25. Vaka 1 - Bulanık ideal çözümlerden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama metodu)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı $S^- / [(S^+) + (S^-)]$	Sıralama
AJM	0,316	0,145	0,31480	5
AWJM	0,324	0,138	0,29905	7
RUSM	0,304	0,158	0,34244	2
ECM	0,220	0,242	0,52451	1
EDM	0,310	0,151	0,32795	3
EBM	0,318	0,144	0,31130	6
LBM	0,312	0,150	0,32530	4

En iyi bulanık olmayan performans değerine dayalı BTOPSIS – Vaka 1

Yöntem detayları Bölüm 4.2.2.2. de açıklanmıştır. Yöntem özetle aşağıdaki adımları içermektedir.

1. Alternatif proses kümesinin oluşturulması
2. Karar matrisinin oluşturulması
3. Kriter performansları için en iyi bulanık olmayan performans değerlerinin hesaplanması
4. Normalize matrisin oluşturulması
5. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması
6. İdeal çözümden uzaklıkların hesaplanması
7. Yakınlık Katsayılarının hesaplanması

Adım 1 alternatif proses kümesinin oluşturulması.

Çizelge 5.2. göre delik delme prosesi için uygun prosesler, Çizelge 5.3. göre çelik için uygun prosesler ve Çizelge 5.5. göre vaka 1 için verilen çap, tolerans ve L/D değerlerine göre uygun prosesler seçilir. Bu durumda vaka 1 için alternatif prosesler AJM, AWJM, RUSM, ESM, EDM, EBM ve LBM prosesleridir.

Adım 2 karar tablosunun oluşturulması.

Tez çalışmasında, esas alınan karar matrisi Bölüm 5.4. elde edilen karar matrisidir. Çizelge 5.5., 5.6. ve 5.7. yeralan kriter performans değerleri kullanılarak alternatif kümesi için kriter performans değerlerini içeren karar matrisi oluşturulur.

Bu yaklaşımda fayda ve maliyet esasına göre yapılan normalizasyon işlemi en iyi bulanık olmayan performans değerlerinin hesaplanmasından sonra yapılmaktadır. Bu nedenle karar matrisinde yer alan nicel performans kriterlerinin üçgen bulanık sayı formasyonundaki üyelik fonksiyonu prosesin alt ve üst yeterlilik değerlerine olarak değil alt, ortalama ve üst yeterlilik değerlerinin aritmetik sıralaması olarak tanımlanmıştır.

Vaka çalışması 1 için oluşturulan karar matrisi Çizelge 5.26'da sunulmuştur.

Çizelge 5.26. Vaka 1 Karar matrisi (BNP değerine dayalı BTOPSIS)

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlama			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,030	0,050	0,120	0,250	0,600	1,250	0,020	0,025	0,030	0,150	0,200	0,250	0,004	0,005	0,006
AWJM	0,026	0,040	0,060	0,200	0,300	0,400	0,020	0,025	0,030	0,400	0,500	0,600	0,003	0,003	0,004
RUSM	0,008	0,012	0,022	0,250	0,500	0,750	0,025	0,025	0,030	0,070	0,080	0,090	0,003	0,004	0,005
ECM	0,025	0,050	0,100	0,200	1,000	1,500	0,004	0,005	0,006	0,150	0,200	0,250	0,001	0,002	0,003
EDM	0,010	0,025	0,100	0,300	2,000	3,000	0,010	0,020	0,030	0,300	0,400	0,500	0,001	0,002	0,003
EBM	0,010	0,020	0,030	1,000	3,000	4,000	0,025	0,025	0,030	0,150	0,250	0,350	0,015	0,020	0,025
LBM	0,010	0,020	0,030	0,400	1,000	1,500	0,050	0,100	0,150	0,400	0,500	0,600	0,040	0,050	0,060

Çizelge 5.26 (devam) Vaka 1 Karar matrisi (BNP değerine dayalı BTOPSIS)

Kriterler	Yatırım			Takım/ Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
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
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
RUSM	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
ECM	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
EDM	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
EBM	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
LBM	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
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Malzeme		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,14	0,15	0,16	0,09	0,10	0,15	8,00	10,00	12,00	20,00	50,00	200,00	5,00	6,00	7,00
AWJM	0,14	0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	25,00	30,00	35,00	300,00	600,00	2000,00	5,00	6,00	7,00
RUSM	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	160,00	180,00	200,00	400,00	800,00	2400,00	5,00	6,00	7,00
ECM	0,40	0,50	0,60	0,09	0,10	0,11	25,00	30,00	35,00	500,00	2000,00	14000,00	8,00	9,00	10,00
EDM	0,14	0,15	0,16	0,04	0,05	0,06	25,00	30,00	35,00	100,00	800,00	1300,00	8,00	9,00	10,00
EBM	0,04	0,04	0,10	0,04	0,04	0,10	12,00	15,00	18,00	0,30	2,00	6,00	5,00	6,00	7,00
LBM	0,14	0,15	0,16	0,09	0,10	0,15	8,00	10,00	12,00	20,00	50,00	200,00	5,00	6,00	7,00

Adım 3 kriter performansları için en iyi bulanık olmayan performans değerlerinin hesaplanması.

Bölüm 4.2.2.2 de yer alan eşitlik 4.37 kullanılarak alan merkezi yöntemi ile bulanık performans değerleri durulaştırılarak en iyi bulanık olmayan performans değeri hesaplanır. En iyi bulanık olmayan performans değerlerini gösteren çizelge, Çizelge 5.27’de sunulmuştur.

Çizelge 5.27 Vaka 1 en iyi bulanık olmayan (BNP) değerleri

BNP	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçapı	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,067	0,700	0,025	0,200	0,005	2,000	3,000	6,000
AWJM	0,042	0,300	0,025	0,500	0,003	4,000	3,000	6,000
RUSM	0,014	0,500	0,027	0,080	0,004	4,000	7,000	7,000
ECM	0,058	0,900	0,005	0,200	0,002	9,000	8,000	3,000
EDM	0,045	1,767	0,020	0,400	0,002	8,000	9,000	9,000
EBM	0,020	2,667	0,027	0,250	0,020	9,000	2,000	2,000
LBM	0,020	0,967	0,100	0,500	0,050	8,000	2,000	2,000

Çizelge 5.27 (devam) Vaka 1 en iyi bulanık olmayan (BNP) değerleri

BNP	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
AJM	2,000	4,000	0,150	0,113	10,000	90,000	6,000
AWJM	2,667	3,000	0,150	0,150	30,000	966,667	6,000
RUSM	3,000	6,000	0,050	0,050	180,000	1200,000	6,000
ECM	9,000	7,000	0,500	0,100	30,000	5500,000	9,000
EDM	3,000	3,000	0,150	0,050	30,000	733,333	9,000
EBM	3,000	8,000	0,058	0,058	15,000	2,767	6,000
LBM	2,000	8,000	0,050	0,100	20,000	2,367	6,000

Adım 4 normalize matrisin oluşturulması.

Her kriter için en yüksek BNP ve en düşük BNP değerleri esas alınarak ve eşitlik 3.6, 3.7 kullanılarak normalize matris oluşturulur. Vaka 1 için oluşturulan normalize matris Çizelge 5.28’de sunulmuştur.

Çizelge 5.28 Vaka 1 için BNP normalize matrisi

Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçapı	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,210	0,429	0,200	0,400	0,400	1,000	0,667	0,333
AWJM	0,333	1,000	0,200	0,160	0,600	0,500	0,667	0,333
RUSM	1,000	0,600	0,188	1,000	0,500	0,500	0,286	0,286
ECM	0,240	0,333	1,000	0,400	1,000	0,222	0,250	0,667
EDM	0,311	0,170	0,250	0,200	1,000	0,250	0,222	0,222
EBM	0,700	0,113	0,188	0,320	0,100	0,222	1,000	1,000
LBM	0,700	0,310	0,050	0,160	0,040	0,250	1,000	1,000
Normalize Karar Tablosu	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	1,000	0,750	0,333	0,441	0,056	0,016	0,667	
AWJM	0,750	1,000	0,333	0,333	0,167	0,176	0,667	
RUSM	0,667	0,500	1,000	1,000	1,000	0,218	0,667	
ECM	0,222	0,429	0,100	0,500	0,167	1,000	1,000	
EDM	0,667	1,000	0,333	1,000	0,167	0,133	1,000	
EBM	0,667	0,375	0,857	0,857	0,083	0,001	0,667	
LBM	1,000	0,375	1,000	0,500	0,111	0,000	0,667	

Adım 5 ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması.

Eşitlik 3.9 kullanılarak ağırlık vektörü ve normalize matris çarpılarak Çizelge 5.29 da sunulan ağırlıklı normalize matris elde edilir.

Çizelge 5.29 Vaka 1 için BNP ağırlıklı normalize matrisi

Ağırlıklı Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,013	0,024	0,009	0,006	0,011	0,104	0,055	0,022
AWJM	0,020	0,055	0,009	0,003	0,017	0,052	0,055	0,022
RUSM	0,061	0,033	0,008	0,016	0,014	0,052	0,023	0,019
ECM	0,015	0,018	0,043	0,006	0,028	0,023	0,021	0,044
EDM	0,019	0,009	0,011	0,003	0,028	0,026	0,018	0,015
EBM	0,042	0,006	0,008	0,005	0,003	0,023	0,082	0,066
LBM	0,042	0,017	0,002	0,003	0,001	0,026	0,082	0,066
Ağırlıklı Normalize Karar Tablosu	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	0,053	0,009	0,008	0,010	0,001	0,004	0,119	
AWJM	0,040	0,012	0,008	0,008	0,002	0,042	0,119	
RUSM	0,035	0,006	0,025	0,023	0,011	0,052	0,119	
ECM	0,012	0,005	0,003	0,012	0,002	0,240	0,179	
EDM	0,035	0,012	0,008	0,023	0,002	0,032	0,179	
EBM	0,035	0,005	0,022	0,020	0,001	0,000	0,119	
LBM	0,053	0,005	0,025	0,012	0,001	0,000	0,119	

Adım 6 ideal çözümden uzaklıkların hesaplanması.

Her kriter için ağırlıklı normalize matriste alan en yüksek ve en düşük değerler pozitif ve negatif ideal çözümler olarak varsayılır. Eşitlik 3.12 ve Eşitlik 3.13 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümlerden uzaklıklar hesaplanır.

Adım 7 yakınlık katsayılarının hesaplanması.

Eşitlik 3.14 kullanılarak yakınlık katsayısı hesaplanır.

Vaka 1 için uzaklık değerleri ve yakınlık katsayısı Çizelge 5.30 de sunulmuştur.

Çizelge 5.30. Vaka 1 - Bulanık ideal çözümlerden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu)

Proses	Pozitif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Negatif İdeal Çözümünden Toplam Uzaklık S*	Yakınlık Katsayısı $S^-/[(S^+)+(S^-)]$	Sıralama
AJM	0,260	0,101	0,27993	3
AWJM	0,228	0,087	0,27641	4
RUSM	0,222	0,092	0,29249	2
ECM	0,130	0,254	0,66152	1
EDM	0,249	0,079	0,24207	7
EBM	0,270	0,093	0,25693	6
LBM	0,268	0,100	0,27111	5

5.6.2. Vaka çalışması 2

HRC 35 sertliğe sahip süper alaşımdan imal edilmiş olan türbin motor yanma odası kapağının delinmesi için EBM yöntemi kullanılmaktadır. Prosesle ilgili gereklilikler aşağıdadır [Yurdakul ve Coğun, 2003].

İş malzemesi	Süperalaşım
Şekilsel Yeterlilik	Delik delme
Proses Yeterlilik	Çap D = 0,9mm Tolerans 0,05mm L/D = 1,22

Yurdakul ve Coğun [2003] tarafından yapılan çalışmada işleme hızının göreceli yüksek önemine 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 Çizelge 5.31, Çizelge 5.32 ve Çizelge 5.33’de sunulmuştur.

Çizelge 5.31. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümünden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu)

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

Çizelge 5.31 (devam) Vaka 2 - Bulanık ideal çözümlerden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu)

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

Çizelge 5.32. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)

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

Çizelge 5.33. Vaka 2 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu)

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

Yukarıdaki tablolarda Chen yaklaşımına dayalı BTOPSIS, genelleştirilmiş ortalama yaklaşımına dayalı BTOPSIS ve en iyi bulanık olmayan performans dayalı BTOPSIS yaklaşımı sonucu elde edilen sonuçlardır. 3 yöntemin adımlarının takip edilmesi sonucu ortaya çıkan tablolar Eklerde detaylı olarak sunulmuştur

5.6.3. Vaka çalışması 3

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. [Yurdakul ve Coğun, 2003].

İş malzemesi	çelik 51000 (HRC 65)
Şekilsel yeterlilik	delik delme
Proses yeterlilik	D = 0,175mm tolerans = 0,025mm, L/D = 5,7

Yurdakul ve Coğun (2003) tarafından yapılan çalışmaya göre sıralama EDM, USM, LBM ve EBM şeklindedir. BTOPSIS yaklaşımı ile elde edilen sıralama ise Çizelge 5.34, Çizelge 5.35 ve Çizelge 5.36’de sunulmuştur.

Çizelge 5.34. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu)

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

Çizelge 5.35. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)

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

Çizelge 5.36. Vaka 3 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu)

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

Yukarıdaki tablolarda Chen yaklaşımına dayalı BTOPSIS, geliştirilmiş ortalama yaklaşımına dayalı BTOPSIS ve en iyi bulanık olmayan performans dayalı BTOPSIS yaklaşımı sonucu elde edilen sonuçlardır. 3 yöntemin adımlarının takip edilmesi sonucu ortaya çıkan tablolar Eklerde detaylı olarak sunulmuştur

5.6.4. Vaka çalışması 4

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. Malzeme konusunda bilgi verilmemekle birlikte 4140 çelik olduğu farzedilmektedir. Proses gereksinimleri aşağıda verildiği gibidir.

İş malzemesi	çelik 4140
Şekilsel yeterlilik	cep işleme
Proses yeterlilik	tolerans = 0,13mm t/w = 3,86

Literatürde uygulanan çözüm elektro kimyasal işlemdir. Yurdakul ve Coğun (2003) tarafından yapılan sıralama ise ECM, AJM ve EDM şeklindedir.

BTOPSIS yaklaşımı ile elde edilen sıralama ise Çizelge 5.37, Çizelge 5.38 ve Çizelge 5.39'da sunulmuştur.

Çizelge 5.37. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu)

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
EDM	14,655	0,366	0,02436	4

Çizelge 5.38. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)

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

Çizelge 5.39. Vaka 4 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu)

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

Yukarıdaki tablolarda Chen yaklaşımına dayalı BTOPSIS, genelleştirilmiş ortalama yaklaşımına dayalı BTOPSIS ve en iyi bulanık olmayan performans dayalı BTOPSIS yaklaşımı sonucu elde edilen sonuçlardır. 3 yöntemin adımlarının takip edilmesi sonucu ortaya çıkan tablolar Eklerde detaylı olarak sunulmuştur

5.6.5. Vaka çalışması 5

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 [Yurdakul ve Coğun, 2003].

İş malzemesi seramik
 Şekilsel yeterlilik delik delme
 Proses yeterlilik D = 0,64mm
 L/D = 5,7mm

Literatürde karşılaşılan vaka için USM kullanılmıştır. Yurdakul ve Coğun (2003) tarafından yapılan çalışmada ise sıralama USM, LBM, EBM, CHM ve AJM şeklindedir. BTOPSIS yaklaşımı ile elde edilen sıralama ise Çizelge 5.40, Çizelge 5.41 ve Çizelge 5.42’de sunulmuştur.

Çizelge 5.40. Vaka 5 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümünden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (Chen metodu)

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

Çizelge 5.41. Vaka 5 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümünden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (genelleştirilmiş ortalama)

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

Çizelge 5.42. Vaka 5 - Bulanık pozitif – negatif ideal çözümden toplam uzaklık ve yakınlık katsayısı (en iyi bulanık olmayan performans metodu)

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

6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Bulanıklığın ağırlık vektörüne etkisini görmek amacıyla Bölüm 5 de BAHP ile kriter ağırlıklarının yanısıra BAHP ile ağırlık vektörünün hesaplanmasında kullanılan ikili karşılaştırma matrislerin oluşturan (l, m, n) 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 Çizelge 6.1’de sunulmuştur. Çizelge 6.1’de görüldüğü üzere 6 kriter için sıralama değişmemiştir. 6 kriter içinse sıralama sadece ± 1 sıra değişmiştir. Tablo 6.1 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 hasarlama 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 metotları kullanılarak elde edilen kriter ağırlıklarını takiben farklı TOPSIS yaklaşımları kullanılarak farklı vakalar için en uygun alternatif seçimleri yapılmıştır. Bölüm 5’de BTOPSIS yaklaşımlarının vakalar nasıl uygunlandığı detaylı olarak gösterilmiştir. Bu bölümde ise BTOPSIS yaklaşımlarının yanı sıra klasik TOPSIS yaklaşımı ile de elde edilen sonuçlar çizelgelerde gösterilecektir.

Çizelge 6.1. AHP ve BAHP ile elde edilen ağırlık vektörü

Kriterler	AHP ile hesaplanan ağırlık vektörü (CR<0,04)	Sıralama	BAHP ile hesaplanan ağırlık vektörü	Sıralama	Fark
Tolerans	0,0671	6	0,0607	6	0
Yüzey Kalitesi	0,0444	8	0,0551	7	1
Yüzey Hasarlama	0,0255	10	0,0429	9	1
Köşe Yarıçap	0,0113	14	0,0160	13	1
Taper	0,0169	13	0,0280	10	3
Yatırım	0,1893	2	0,1045	3	-1
Takım/ Fikstür	0,0996	4	0,0821	4	0
Takım Aşınması	0,0676	5	0,0663	5	0
Güç Tüketimi	0,0469	7	0,0527	8	-1
İşçilik	0,0254	11	0,0123	14	-3
Delik Çapı	0,0290	9	0,0254	11	-2
Kesme Kalınlığı	0,0222	12	0,0234	12	0
L/D - t/w oranı	0,0085	15	0,0115	15	0
İşleme Hızı	0,2198	1	0,2402	1	0
Malzeme	0,1266	3	0,1790	2	1

Vaka 1 için elde edilen sıralama sonuçları Çizelge 6.2’de sunulmuştur. Sonuçlar incelediğinde vakanın ilk olarak incelendiği Yurdakul ve Cogun [2003] tarafından yapılan çalışmadan oldukça farklı bir sıralama çıktığı görülmektedir. Yurdakul ve Cogun [2003] tarafından yapılan çalışmada ilk iki sırada yer alan LBM ve EBM prosesleri tez çalışmasında daha alt sıralarda yer almaktadır. Bunun temel nedeni ise daha önce yapılan çalışmada yatırım maliyeti ve işçilik unsurlarının dikkate alınmamış olmasıdır. Yatırım unsurlarının en etkili kriterlerden biri olması nedeniyle bu iki proses daha alt sıralarda yer almıştır.

Çizelge 6.2. Vaka 1 için sıralama sonuçları

Alternatif	Yurdakul-Cogun [2003]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP'ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ortalamaya dayalı BTOPSIS	BTOPSIS - Chen Metodu
AJM	4	2	5	3	5	5
AWJM	*	4	4	4	7	7
RUSM	*	3	2	2	2	2
ECM	3	1	1	1	1	1
EDM	5	5	3	7	3	3
EBM	2	7	7	6	6	6
LBM	1	6	6	5	4	4

* AWJM ve RUSM prosesleri Yurdakul ve Cogun [2003] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir.

Vaka 2 için elde edilen sıralama sonuçları Çizelge 6.3’de sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde farklı BTOPSIS metodolojileri kullanılarak elde edilen sonuçların oldukça benzer olduğu ancak BTOPSIS ile TOPSIS sonuçları arasında daha yüksek bir fark bulunduğu gözlenmektedir.

Çizelge 6.3. Vaka 2 için sıralama sonuçları

Alternatif	Yurdakul-Cogun [2003]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP’ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ortalamaya 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 [2003] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir.

Vaka 3 için elde edilen sıralama sonuçları Çizelge 6.4’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.

Çizelge 6.4. Vaka 3 için sıralama sonuçları

Alternatif	Yurdakul-Cogun [2003]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP’ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ortalamaya 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 [2003] 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.

Vaka 4 için elde edilen sıralama sonuçları ise Çizelge 6.5’de sunulmuştur. Vaka 3 de olduğu gibi literatüre ve yöntemler arası sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu bir tablo edilmiştir.

Çizelge 6.5. Vaka 4 için sıralama sonuçları

Alternatif	Yurdakul-Cogun [2003]	AHP+TOPSIS	BAHP+TOPSIS	BNP'ye dayalı BTOPSIS	Genelleştirilmiş Ortalamaya 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 [2003] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir.

Vaka 5 için elde edilen sıralama sonuçları ise Çizelge 6.6'de sunulmuştur. Sonuçlar farklı BTOPSIS metodolojileri ve TOPSIS yaklaşımı için aynıdır. Vakanın ilk olarak incelendiği Yurdakul ve Coğun [2003] çalışmasındaki sıralamadaki temel fark ise Vaka 1 de olduğu gibi LBM ve EBM nin yatırım maliyetlerinin tez çalışmasında değerlendirmeye alınmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.6. Vaka 5 için sıralama sonuçları

Alternatif	Yurdakul-Cogun [2003]	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 proseleri Yurdakul ve Coğun [2003] yapılan çalışmada alternatif olarak değerlendirilmemiştir

Tez çalışmasında BTOPSIS yaklaşımı olarak kullanılan 3 farklı yaklaşımı için bulanık sayılarda 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 normalize matris oluşturulduktan sonra genelleştirilmiş ortalama değerleri hesaplanarak durulaştırma yapılmaktadır. Chen tarafından oluşturulan BTOPSIS yaklaşımında ise durulaştırma pozitif ve negatif ideal çözüm kümesinde uzaklıkların hesaplanması esnasında sağlanmaktadır. Tez çalışmasında üç

farklı yöntem sonucu 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 açık olarak göstermektedir.

7. SONUÇ

Tez çalışmasında alışılmamış imalat yöntemleri 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 uygulamaya 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 aşamaların yapılmasında 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 alışılmamış imalat yöntemi seçim problemine 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 yönteminine 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, ağırlıklandırmanın önemi daha detaylı olarak ele alınmalıdır. Prosesin uygulaması esnasında kriter performanslarında ortaya çıkan değişim daha etkin şekilde karar modeline dahil edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abo-Sinna, M.A., Amer, A.H., "Extension of TOPSIS for Multi-Objective Large Scale Nonlinear Programming Problems", ***Applied Mathematics and Computation***, 162(1): 243-256 (2005).
- Amir Sanayei A., Mousavi S. F., Abdi M. R. and Mohaghar A., "An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming", ***Journal of the Franklin Institute***, 345(7): 731-747 (2008).
- Aouam T., Chang S.I. and Lee E. S., "Fuzzy MADM: An outranking method", ***European Journal of Operational Research***, 145(2): 317-328 (2003).
- Awasthi A., Chauhan S. S., Goyal S. K., "A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers", ***International Journal of Production Economics***, 126(2): 370-378 (2010).
- Ayağ Z., "A combined fuzzy AHP-simulation approach to CAD software selection", ***International Journal of General Systems***, 39(7): 731-756 (2010).
- Aydogan E. K., "Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment", ***Expert Systems with Applications***, 38(4): 3992-3998 (2011).
- Behzadiana M., Kazemzadehb R. B., Albadvib A. and Aghdasib M., "PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications", ***European Journal of Operational Research***, 200(1): 198-215 (2010).
- Bellman, R. E., and Zadeh. L. A. , "Decision-making in a fuzzy environment." ***Management Science***, 17(4): 141- 164 (1970).
- Belton V., Stewart T.J., "Multiple criteria decision analysis: an integrated approach", ***Kluwer Academic Publications***, UK, 1-10 (2002).
- Boender C. G. E., De Graan J. G., Lootsma F. A., "Multi-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons", ***Fuzzy Sets and Systems***, 29(2): 133-143 (1989).
- Boran F. E., Genç S., Kurt M., Akay D., "A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method", ***Expert Systems with Applications***, 36(8): 11363-11368 (2009).
- Boud F., Carpenter C., Folkes J., Shipway P. H., "Abrasive waterjet cutting of a titanium alloy: The influence of abrasive morphology and mechanical properties on workpiece grit embedment and cut quality", ***Journal of Materials Processing Technology***, 210(15): 2197-2205 (2010).
- Bouysou D., Marchant T., Pirlot M., Tsoukias A., Vincke P., "Problem Formulation and Structuring: The Decision Aiding Process", Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria, ***Springer***, ABD, 19-47 (2006).

- Bozbura F. T., Beskese A., Kahraman C., "Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP", *Expert Systems with Applications*, 32(4): 1100-1112 (2007).
- Bozdağ, C. E., Kahraman, C., Ruan, D., "Fuzzy Group Decision Making for Selection among Computer Integrated Manufacturing Systems", *Computers in Industry*, 51(1): 13-29 (2003).
- Buckley J. J., "Fuzzy hierarchical analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3): 233-247 (1985).
- Büyükköçkan, G., Kahraman, C., Ruan, D., "A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection", *International Journal of General Systems*, 33 (2-3): 259-280 (2004).
- Cakir O, Yardimeden A, Özben T., "Chemical machining", *Archives of Materials Science and Engineering*, 28(8): 499-502 (2007).
- Chakladar N. D., 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*, 222(12): 1613-1623 (2008).
- Chakladar N. D., Das R., Chakrabort S, 2009, A digraph-based expert system for non-traditional machining processes selection, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43 (3-4): 226-237 (2009).
- Chakraborty, S., Dey, S., "Design of an analytic-hierarchy-process-based expert system for non-traditional machining process selection", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(5-6): 490-500 (2006).
- Chakraborty S, Dey S., "QFD-based expert system for non-traditional machining processes selection", *Expert Systems with Applications*, 32 (4): 1208-1217 (2007).
- Chan T. S. F., Jiang B. and Tang N. K. H., "The development of intelligent decision support tools to aid the design of flexible manufacturing systems", *International Journal of Production Economics*, 65(1): 73-84 (2000).
- Chang D. Y., "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655 (1996).
- Chen C. T., Lin C. T., Huang S. F., "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management", *International Journal of Production Economics*, 102(2): 289-301 (2006).
- Chen T. C., "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1): 1-9 (2000).
- Cheng C. H., Yang, K. L., Hwang, C. L., Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight, *European Journal of Operational Research*, 116 (2): 423-435 (1999).

Cheng H. C., "Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function", *European Journal of Operational Research*, 96(2): 343-350 (1996).

Chu, T.C., "Selecting Plant Location via Fuzzy TOPSIS Approach", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20(11): 859-864 (2002).

Chu, T. C., Lin, Y. C., "A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(4): 284-290 (2003).

Clemen R.T., "An Introduction to Decision Analysis", Making Hard Decisions – An Introduction to Decision Analysis, 2nd Ed., *Duxbury Press*, ABD (1996).

Cogun C., "Computer-aided system for selection of nontraditional machining operations", *Computers in Industry*, 22(2): 169-179 (1993).

Çetinyokuş T., Gökçen H., "Borsada göstergelerle teknik analiz için bir karar destek sistemi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17(1): 43-58 (2002).

Çevik S., Ates N. Y., Gülbay M., "Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems", *Computers & Industrial Engineering*, 52(4): 414-433 (2007).

Dağdeviren M., Akay D., Kurt M., "İş Değerlendirme, Faktör Derece Puanlarının Belirlenmesinde Hedef Programlama Yönteminin Kullanılması", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19(1): 89-95 (2004).

Dağdeviren M., Eraslan E., "PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(1): 69-75 (2008).

Dağdeviren M., Yavuz S., Kılınç N., "Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, 36(4): 8143-8151 (2009).

Dağdeviren, M., "Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Yeni Bir Analitik İş Değerlendirme Tekniğinin Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-100 (2002).

Das S., Chakraborty S., "Selection of non-traditional machining processes using analytic network process", *Journal of Manufacturing Systems*, 30(1): 41-53 (2011).

Deng, H., "Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison", *International Journal of Approximate Reasoning*, 21(3): 215-231 (1999).

Dodgson J., Spackman M., Pearman A., Philips L., "Multi Criteria Decision Analysis", DTLR Multi-Criteria Analysis Manual, *UK Department for Transport, Local Government and the Regions*, 38-62 (2001).

Doğan M., İşletmelerde Karar Verme Teknikleri, *Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Yayınları*, Bilgehan Basımevi, İzmir, 1-20 (1985).

Ebeid S. J., Computerized machinability data base systems as applied to non-conventional machining processes", *AMSE Review (Association for the Advancement of Modelling and Simulation Techniques in Enterprises)*, 4(1): 7-17, (1986).

El-Hofy H., "Hybrid Electrochemical Processes", Advanced Machining Processes: Nontraditional and Hybrid Machining Processes, *McGraw-Hill*, ABD, 181-201 (2005).

Ertuğ B, "Bir akaryakıt istasyonunun fizibilite etüdünde TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 40-55 (2009).

Ertuğrul İ., Karakaşoğlu N., "Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8): 783-795 (2008).

Figueira J., Greco S., Ehrgott M., "Multi Attribute Utility and Value Theories", Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, *Springer Science+Business Media Inc.*, New York, 265-294 (2005).

Güner H. "Bulanık AHP ve Bir İşletme için Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 28-68 (2005).

Güneş M., Umarusman N., "Bir Karar Destek Aracı Bulanık Hedef Programlama ve Yerel Yönetimlerde Vergi Opimizasyonu Uygulaması", *Review of Social, Economic & Business Studies*, 2: 242-255 (2004).

Güngör Z., Serhadlıoğlu G., Kesen S. E., "A fuzzy AHP approach to personnel selection problem", *Applied Soft Computing*, 9(2): 641-646 (2009).

Izadikhah M., "Using the Hamming distance to extend TOPSIS in a fuzzy environment", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 231(1): 200-207 (2009).

İç Y. T., "İşleme merkezlerinin seçiminde kullanılacak bir karar destek sisteminin geliştirilmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-209 (2006).

İç Y. T., Yurdakul M., "Development of a quick credibility scoring decision support system using fuzzy TOPSIS", *Expert Systems with Applications*, 37(1): 567-574 (2010).

İnternet: Colombia University Manufacturing Research Laboratory, "Cross Process Innovations", <http://www.mrl.columbia.edu/ntm/CrossProcess/CrossProcessSect2.htm> (2011).

İnternet: Erden, A., Atılım Üniversitesi, "Alışılmamış (Geleneksel Olmayan) İmalat Yöntemleri", <http://design.atilim.edu.tr/edm/publications/aiy.pdf>, (2011).

Johnson J., "Laser machining centers spell productivity", *Laser Appl.*, 73-77 (1984).

Jones D., Tamiz M., "History and Philosophy of Goal Programming", Practical Goal Programming, *Springer*, New York, 1-8 (2010).

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).

Kahraman, C., Çevik, S., Ateş, N. Y., Gülbay, M., "Fuzzy Multi-Criteria Evaluation of Industrial Robotic Systems", *Computers and Industrial Engineering*, 52(4): 414-433 (2007).

Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D., "Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey", *International Journal of Production Economics*, 87(2): 171-184 (2004).

Karakaşoğlu N., "Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Denizli, 1-7 (2008).

Karakaya, K. "İstanbul Boğazı'ndan Geçen Gemilerin Emniyetli Geçişinin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Kullanarak Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-200 (2003).

Kaya T., Kahraman C., "An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment", *Expert Systems with Applications*, 38(7): 8553-8562 (2011).

Kaya T., Kahraman C., "Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology", *Expert Systems with Applications*, 38(6): 6577-6585 (2011).

Krohling R. A., Campanharo V. C., "Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea", *Expert Systems with Applications*, 38(4): 4190-4197 (2011).

Kulak, O., Kahraman, C., "Fuzzy Multi-Attribute Selection among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process", *Information Sciences*, 170(2-4): 191-210 (2005).

Kuruüzüm, A., Atsan, N., "Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları", *Akdeniz Üniversitesi İ.B.B.F Dergisi*, 1(1): 83-105 (2001).

Lee S. H., "Using fuzzy AHP to develop intellectual capital evaluation model for assessing their performance contribution in a university", *Expert Systems with Applications*, 37(7): 4941-4947 (2010).

Leung, L., Cao, D., "On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, 124(1): 102-113 (2000).

- Liang S. G., "Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts", **European Journal of Operational Research**, 112(3): 682-691 (1999).
- Loken E., "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 11(7): 1584-1595 (2007)
- Machinability Data Center, "Introduction to Nontraditional Machining", Machining Data Handbook, 3rd Ed., **Cincinnati**, Ohio, 9.1-9.5 (1980)
- Malekly H., Mousavi S. M., Hashemi H., "A fuzzy integrated methodology for evaluating conceptual bridge design", **Expert Systems with Applications**, 37(7): 4910-4920 (2010)
- Mikhailov, L., Tsvetinov, P., "Evaluation of Services Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process", **Applied Soft Computing**, 5(1): 23-33 (2004)
- Opricovic S., Tzeng G. H., "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS", **European Journal of Operational Research**, 156(2): 445-455 (2004).
- Önüt S., Efendigil T., Kara S. S., "A combined fuzzy MCDM approach for selecting shopping center site: An example from Istanbul, Turkey", **Expert Systems with Applications**, 37(3): 1973-1980 (2010).
- Önüt S., Soner S., "Transshipment Site Selection Using the AHP and TOPSIS Approaches Under Fuzzy Environment", **Waste Management**, 28(9): 1552-1559 (2008).
- Öz A. H., "Yük helikopter seçiminde bulanık çok kriterli karar verme modeli", Doktora Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-161 (2007).
- Özdağolu A., Özdağoğlu G., "Comparison of AHP and Fuzzy AHO for Multi-Criteria Decision Making Processes with Linguistic Evaluations", **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 11(1): 65-85(2007).
- Öztürk A., Ertuğrul İ., Karakaşoğlu N., "Nakliye Firması Seçiminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS Yöntemleri Karşılaştırılması", **Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi**, 20(2): 785-824 (2008).
- Pandey P. C., Shan H. S., "Mechanical Processes", Modern Machining Process, 33rd Ed., **Tata McGraw-Hill**, New Delhi, 7-52 (2008).
- Rajurkar K.P. and Ross, R.F. "The role of nontraditional manufacturing processes in future manufacturing industries". **ASME Manufacturing International**, 23-37 (1992).
- Rao P. N., "Unconventional Machining Processes", Manufacturing Technology Volume 2, 2nd Ed, **Tata McGraw-Hill**, New Delhi, 293-343 (2009).
- Shih S.H, Shyurb H.J., Leec E. S., "An extension of TOPSIS for group decision making", **Mathematical and Computer Modelling**, 45(7-8): 801-813 (2007).

- Sun C. C., "A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods", *Expert Systems with Applications*, 37(12): 7745-7754 (2010)
- Sun C. C., Lin G. T. R., "Using fuzzy TOPSIS method for evaluating the competitive advantages of shopping websites", *Expert Systems with Applications*, 36(9): 11764-11771 (2009)
- Thoe T. B., Aspinwall D. K., Wise M. L. H., "Review on ultrasonic machining", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(4): 239–255 (1998)
- Tiryaki, F., Ahlatcıoğlu, M., "Fuzzy Stock Selection Using a New Fuzzy Ranking and Weighting Algorithm", *Applied Mathematics and Computation*, 170(1): 144-157 (2005)
- Torlak G., Sevkli M., Sanal M., Zaim S., "Analyzing business competition by using fuzzy TOPSIS method: An example of Turkish domestic airline industry", *Expert Systems with Applications*, 38(4): 3396-3406 (2011)
- Triantaphyllou E., "Introduction to Multi-Criteria Decision Making", Multi-criteria decision making methods: a comparative study, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 1-3 (2000).
- Triantaphyllou, E., Lin, C.T., "Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods", *International Journal of Approximate Reasoning*, 14(4): 281-310 (1996).
- Tsaur S. H., Chang T.Y., Yen C. G., "The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM", *Tourism Management*, 23(2): 107-115 (2002)
- Tüysüz, F., Kahraman, C., "Project Risk Evaluation Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Process: an Application to Information Technology Projects", *International Journal of Intelligent Systems*, 21(6): 559-584 (2006)
- Ulucan A. "Yöneylem Araştırması – İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme", *Siyasal Kitabevi*, Ankara, 300-310 (2004).
- Van Laarhoven P. J. M., Pedryc W., "A fuzzy extension of Saaty's priority theory", *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3): 199-227 (1983)
- Wang J. W., Cheng C. H., Huang K. C., "Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection", *Applied Soft Computing*, 9(1): 377-386 (2009)
- Wang T. C., Hsien-Da Lee H. D., "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights", *Expert Systems with Applications*, 36(5): 8980-8985 (2009).
- Wang, Y. J., Lee, H. S., "Generalizing TOPSIS for Fuzzy Multiple-Criteria Group Decision Making", *Computers and Mathematics with Applications*, 53(11): 1762-1772, (2007).

Wang, T. C., Chang, T. H., "Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft Under a Fuzzy Environment", *Expert Systems with Applications*, 33(4): 870-880 (2007).

Wang, Y. M., Elhag, T. M. S., "Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment", *Expert Systems with Applications*, 31(2): 309-319 (2006).

Weck M., Klocke F., Schell H. and Rüenauver E., "Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method" *European Journal of Operational Research*, 100(2): 351-366 (1997).

Wua H. Y., Tzeng G.H. and Chen Y. H., "A fuzzy MCDM approach for evaluating banking performancenext term based on Balanced Scorecard", *Expert Systems with Applications*, 36(6): 10135-10147 (2009).

Yao Y. L., Cheng J. G., Rajurkar K. P., Kovacecic R., Feiner S. and Zhang W., "Combined research and curriculum development of nontraditional manufacturing" *European Journal of Engineering Education*, 30(3): 363-376 (2005).

Yeh C. H., Deng H., Chang Y. H., "Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies", *European Journal of Operational Research*, 126(3): 459-473 (2000).

Yong, D., "Plant Location Selection Based on Fuzzy TOPSIS", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7-8): 839-844 (2006).

Youssef H.A. and El-Hofy H., "Nontraditional Machine Tools and Operations", Machining Technology Machine Tools and Operations, *CRC Press Taylor and Francis Group*, Florida, 391-524 (2008).

Yurdakul M.,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*, 217(7), 993-1009 (2003).

Yürekli H., "Taarruz Helikopteri Seçiminde Electre Yönteminin Kullanılması", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 40-74 (2008).

Zadeh L.A., "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8(3): 338-353 (1965).

Zeydan M., Çolpan C., Çobanoğlu C., "A combined methodology for supplier selection and performance evaluation", *Expert Systems with Applications*, 38(3): 2741-2751 (2011).

Zhang C., Ma C. B., Xu, J. D., "A New Fuzzy MCDM Method Based on Trapezoidal Fuzzy AHP and Hierarchical Fuzzy Integral", L.Wang, Y. Jin (ed), FSKD, LNAI 3614, *Springer*, Berlin, 466-474 (2005).

Zhou P., Ang B. W., Poh K. L., "Decision analysis in energy and environmental modeling: An update", ***Energy***, 31(14): 2604-2622 (2006).

Zhu, K., Jing, Y., Chang, D., "A discussion on Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP", ***European Journal of Operational Research***, 116(2): 450-456 (1999).

Zimmermann H. J., Zysno P., "Quantifying vagueness in decision models", ***European Journal of Operational Research***, 22(2): 148-158 (1985).

Zimmermann H. J., "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", ***Fuzzy Sets and Systems***, 1(1): 45-55 (1978).

EKLER

EK-1. Kriter ağırlıkları tablosu

ANA KRİTER AĞIRLIKLARI															
Ana Kriterler	Kalite			Maliyet			Zaman			Proses			Malzeme		
Kalite	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,33	0,50	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	2,00	2,00
Maliyet	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	1,00	3,00	5,00
Zaman	1,00	2,00	3,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	3,50	5,50	1,00	2,00	2,00
Proses	0,20	0,33	1,00	0,14	0,20	0,33	0,18	0,29	0,67	1,00	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
Malzeme	0,50	0,50	1,00	0,20	0,33	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00
SONUÇLAR	0,20			0,32			0,24			0,06			0,18		
KALİTE ALT KRİTER AĞIRLIKLARI															
Alt Kriterler	Tolerans			Yüzey Kalitesi			Yüzey Hasarlama			Min Köşe Yarıçap			Taper		
Tolerans	1,00	1,00	1,00	1,00	2,50	4,00	1,00	3,00	5,00	2,00	4,00	6,00	1,50	3,50	5,50
Yüzey Kalitesi	0,25	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,50	3,50	5,50	1,00	3,00	5,00
Yüzey Hasarlama	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	2,00	3,00
Min Köşe Yarıçap	0,17	0,25	0,50	0,18	0,29	0,67	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	1,00
Taper	0,18	0,29	0,67	0,20	0,33	0,67	0,33	0,50	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00	1,00
SONUÇLAR	0,30			0,27			0,21			0,08			0,14		
MALİYET ALT KRİTER AĞIRLIKLARI															
Alt Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Yatırım	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	1,00	3,00	5,00	2,00	4,00	6,00	3,00	5,00	7,00
Takım/Fikstür	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	3,00	5,00	1,50	3,50	5,50
Takım Aşınması	0,20	0,33	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	3,00	5,00
Güç Tüketimi	0,17	0,25	0,50	0,20	0,33	1,00	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00
İşçilik	0,14	0,20	0,33	0,18	0,29	0,33	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
SONUÇLAR	0,33			0,26			0,21			0,17			0,04		
DELME - KESME SINIRLARI															
Alt Kriterler	Min Delik Çapı			Min. Kesme Kalınlığı			L/D ve t/w oranı								
Min Delik Çapı	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	2,00	1,00	3,00	5,00						
Min Kesme Kalınlığı	0,50	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00						
L/D ve t/w oranı	0,20	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00						
SONUÇLAR	0,42			0,39			0,19								

EK-2. Vaka 2 karar matrisi

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,120	0,050	0,030	1,250	0,600	0,250	0,0300	0,0250	0,0200	0,250	0,200	0,150	0,006	0,005	0,004
AWJM	0,060	0,040	0,026	0,400	0,300	0,200	0,0300	0,0250	0,0200	0,600	0,500	0,400	0,004	0,003	0,003
USM	0,025	0,013	0,010	0,750	0,500	0,250	0,0300	0,0250	0,0200	0,090	0,080	0,070	0,005	0,004	0,003
RUSM	0,022	0,012	0,008	0,750	0,500	0,250	0,0300	0,0250	0,0250	0,090	0,080	0,070	0,005	0,004	0,003
ECM	0,100	0,050	0,025	1,500	1,000	0,200	0,0060	0,0050	0,0040	0,250	0,200	0,150	0,003	0,002	0,001
CHM	0,080	0,030	0,010	2,500	2,000	0,500	0,0060	0,0050	0,0040	1,350	1,250	1,150	0,400	0,300	0,200
EDM	0,100	0,025	0,010	3,000	2,000	0,300	0,0300	0,0200	0,0100	0,500	0,400	0,300	0,003	0,002	0,001
EBM	0,030	0,020	0,010	4,000	3,000	1,000	0,0300	0,0250	0,0250	0,350	0,250	0,150	0,025	0,020	0,015
LBM	0,030	0,020	0,010	1,500	1,000	0,400	0,1500	0,1000	0,0500	0,600	0,500	0,400	0,060	0,050	0,040
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000
AWJM	3,000	4,000	5,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
USM	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	5,000	6,000	7,000	3,000	4,000	5,000	5,000	6,000	7,000
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
ECM	8,000	9,000	10,000	7,000	8,000	9,000	2,000	3,000	4,000	8,000	9,000	10,000	6,000	7,000	8,000
CHM	5,000	6,000	7,000	2,000	3,000	4,000	1,000	2,000	3,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000
EDM	7,000	8,000	9,000	8,000	9,000	10,000	8,000	9,000	10,000	2,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
EBM	8,000	9,000	10,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	7,000	8,000	9,000
LBM	7,000	8,000	9,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	7,000	8,000	9,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Malzeme		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,160	0,150	0,140	0,150	0,100	0,090	8,000	10,000	12,000	20,00	50,00	200,00	8,00	9,00	10,00
AWJM	0,160	0,150	0,140	0,160	0,150	0,140	25,000	30,000	35,000	300,00	600,00	2000,00	8,00	9,00	10,00
USM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	2,000	2,500	3,000	300,00	600,00	2100,00	2,00	3,00	4,00
RUSM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	160,000	180,000	200,000	400,00	800,00	2400,00	2,00	3,00	4,00
ECM	0,600	0,500	0,400	0,110	0,100	0,090	25,000	30,000	35,000	500,00	2000,00	14000,00	8,00	9,00	10,00
CHM	0,110	0,100	0,090	0,110	0,100	0,090	2,000	3,000	3,500	15,00	40,00	140,00	5,00	6,00	7,00
EDM	0,160	0,150	0,140	0,060	0,050	0,040	25,000	30,000	35,000	100,00	800,00	1300,00	8,00	9,00	10,00
EBM	0,100	0,040	0,035	0,100	0,040	0,035	12,000	15,000	18,000	0,30	2,00	6,00	5,00	6,00	7,00
LBM	0,060	0,050	0,040	0,110	0,100	0,090	17,000	20,000	23,000	0,10	2,00	5,00	5,00	6,00	7,00

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,067	0,160	0,267	0,160	0,333	0,800	0,1333	0,1600	0,2000	0,280	0,350	0,467	0,167	0,200	0,250
AWJM	0,133	0,200	0,308	0,500	0,667	1,000	0,1333	0,1600	0,2000	0,117	0,140	0,175	0,250	0,333	0,333
USM	0,320	0,615	0,800	0,267	0,400	0,800	0,1333	0,1600	0,2000	0,778	0,875	1,000	0,200	0,250	0,333
RUSM	0,364	0,667	1,000	0,267	0,400	0,800	0,1333	0,1600	0,1600	0,778	0,875	1,000	0,200	0,250	0,333
ECM	0,080	0,160	0,320	0,133	0,200	1,000	0,6667	0,8000	1,0000	0,280	0,350	0,467	0,333	0,500	1,000
CHM	0,100	0,267	0,800	0,080	0,100	0,400	0,6667	0,8000	1,0000	0,052	0,056	0,061	0,003	0,003	0,005
EDM	0,080	0,320	0,800	0,067	0,100	0,667	0,1333	0,2000	0,4000	0,140	0,175	0,233	0,333	0,500	1,000
EBM	0,267	0,400	0,800	0,050	0,067	0,200	0,1333	0,1600	0,1600	0,200	0,280	0,467	0,040	0,050	0,067
LBM	0,267	0,400	0,800	0,133	0,200	0,500	0,0267	0,0400	0,0800	0,117	0,140	0,175	0,017	0,020	0,025
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,333	0,500	1,000	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,333	0,500	1,000	0,400	0,500	0,667
AWJM	0,200	0,250	0,333	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	1,000	0,500	0,667	1,000
USM	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,143	0,167	0,200	0,200	0,250	0,333	0,286	0,333	0,400
RUSM	0,200	0,250	0,333	0,125	0,143	0,167	0,125	0,143	0,167	0,250	0,333	0,500	0,286	0,333	0,400
ECM	0,100	0,111	0,125	0,111	0,125	0,143	0,250	0,333	0,500	0,100	0,111	0,125	0,250	0,286	0,333
CHM	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	0,333	0,500	1,000	0,125	0,143	0,167	0,500	0,667	1,000
EDM	0,111	0,125	0,143	0,100	0,111	0,125	0,100	0,111	0,125	0,250	0,333	0,500	0,500	0,667	1,000
EBM	0,100	0,111	0,125	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,250	0,333	0,500	0,222	0,250	0,286
LBM	0,111	0,125	0,143	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,222	0,250	0,286
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Süper Alaşım		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,219	0,233	0,250	0,233	0,350	0,389	0,040	0,050	0,060	0,00	0,00	0,01	0,80	0,90	1,00
AWJM	0,219	0,233	0,250	0,219	0,233	0,250	0,125	0,150	0,175	0,02	0,04	0,14	0,80	0,90	1,00
USM	0,583	0,700	0,875	0,583	0,700	0,875	0,010	0,013	0,015	0,02	0,04	0,15	0,20	0,30	0,40
RUSM	0,583	0,700	0,875	0,583	0,700	0,875	0,800	0,900	1,000	0,03	0,06	0,17	0,20	0,30	0,40
ECM	0,058	0,070	0,088	0,318	0,350	0,389	0,125	0,150	0,175	0,04	0,14	1,00	0,80	0,90	1,00
CHM	0,318	0,350	0,389	0,318	0,350	0,389	0,010	0,015	0,018	0,00	0,00	0,01	0,50	0,60	0,70
EDM	0,219	0,233	0,250	0,583	0,700	0,875	0,125	0,150	0,175	0,01	0,06	0,09	0,80	0,90	1,00
EBM	0,350	0,875	1,000	0,350	0,875	1,000	0,060	0,075	0,090	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,70
LBM	0,583	0,700	0,875	0,318	0,350	0,389	0,085	0,100	0,115	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,70

EK-4. Ağırlıklı normalize matris

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,004	0,010	0,016	0,009	0,018	0,044	0,0057	0,0069	0,0086	0,004	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007
AWJM	0,008	0,012	0,019	0,028	0,037	0,055	0,0057	0,0069	0,0086	0,002	0,002	0,003	0,007	0,009	0,009
USM	0,019	0,037	0,049	0,015	0,022	0,044	0,0057	0,0069	0,0086	0,012	0,014	0,016	0,006	0,007	0,009
RUSM	0,022	0,040	0,061	0,015	0,022	0,044	0,0057	0,0069	0,0069	0,012	0,014	0,016	0,006	0,007	0,009
ECM	0,005	0,010	0,019	0,007	0,011	0,055	0,0286	0,0343	0,0429	0,004	0,006	0,007	0,009	0,014	0,028
CHM	0,006	0,016	0,049	0,004	0,006	0,022	0,0286	0,0343	0,0429	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
EDM	0,005	0,019	0,049	0,004	0,006	0,037	0,0057	0,0086	0,0172	0,002	0,003	0,004	0,009	0,014	0,028
EBM	0,016	0,024	0,049	0,003	0,004	0,011	0,0057	0,0069	0,0069	0,003	0,004	0,007	0,001	0,001	0,002
LBM	0,016	0,024	0,049	0,007	0,011	0,028	0,0011	0,0017	0,0034	0,002	0,002	0,003	0,000	0,001	0,001
Kriterler	Yatırım			Takım/Fıksür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,035	0,052	0,104	0,021	0,027	0,041	0,009	0,011	0,013	0,018	0,026	0,053	0,005	0,006	0,008
AWJM	0,021	0,026	0,035	0,021	0,027	0,041	0,009	0,011	0,013	0,013	0,018	0,053	0,006	0,008	0,012
USM	0,026	0,035	0,052	0,012	0,014	0,016	0,009	0,011	0,013	0,011	0,013	0,018	0,004	0,004	0,005
RUSM	0,021	0,026	0,035	0,010	0,012	0,014	0,008	0,009	0,011	0,013	0,018	0,026	0,004	0,004	0,005
ECM	0,010	0,012	0,013	0,009	0,010	0,012	0,017	0,022	0,033	0,005	0,006	0,007	0,003	0,004	0,004
CHM	0,015	0,017	0,021	0,021	0,027	0,041	0,022	0,033	0,066	0,007	0,008	0,009	0,006	0,008	0,012
EDM	0,012	0,013	0,015	0,008	0,009	0,010	0,007	0,007	0,008	0,013	0,018	0,026	0,006	0,008	0,012
EBM	0,010	0,012	0,013	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,013	0,018	0,026	0,003	0,003	0,004
LBM	0,012	0,013	0,015	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,018	0,026	0,053	0,003	0,003	0,004
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Süper Alaşım		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,006	0,006	0,006	0,005	0,008	0,009	0,000	0,001	0,001	0,00	0,00	0,00	0,14	0,16	0,18
AWJM	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006	0,001	0,002	0,002	0,01	0,01	0,03	0,14	0,16	0,18
USM	0,015	0,018	0,022	0,014	0,016	0,020	0,000	0,000	0,000	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,07
RUSM	0,015	0,018	0,022	0,014	0,016	0,020	0,009	0,010	0,011	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,07
ECM	0,001	0,002	0,002	0,007	0,008	0,009	0,001	0,002	0,002	0,01	0,03	0,24	0,14	0,16	0,18
CHM	0,008	0,009	0,010	0,007	0,008	0,009	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,09	0,11	0,13
EDM	0,006	0,006	0,006	0,014	0,016	0,020	0,001	0,002	0,002	0,00	0,01	0,02	0,14	0,16	0,18
EBM	0,009	0,022	0,025	0,008	0,020	0,023	0,001	0,001	0,001	0,00	0,00	0,00	0,09	0,11	0,13
LBM	0,015	0,018	0,022	0,007	0,008	0,009	0,001	0,001	0,001	0,00	0,00	0,00	0,09	0,11	0,13

EK-5. Vaka 2 Pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklık – Chen metodu

FPIS Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,990	0,976	0,993	0,994	0,994	0,937	0,970	0,989	0,968	0,994	0,994	0,992	0,999	0,998	0,839
AWJM	0,987	0,960	0,993	0,998	0,991	0,973	0,970	0,989	0,972	0,991	0,994	0,995	0,998	0,983	0,839
USM	0,965	0,973	0,993	0,986	0,993	0,962	0,986	0,989	0,986	0,996	0,982	0,983	1,000	0,983	0,946
RUSM	0,959	0,973	0,994	0,986	0,993	0,973	0,988	0,990	0,981	0,996	0,982	0,983	0,990	0,980	0,946
ECM	0,989	0,976	0,965	0,994	0,983	0,988	0,990	0,976	0,994	0,996	0,998	0,992	0,998	0,912	0,839
CHM	0,977	0,989	0,965	0,999	1,000	0,982	0,970	0,960	0,992	0,991	0,991	0,992	1,000	0,999	0,893
EDM	0,976	0,985	0,990	0,997	0,983	0,987	0,991	0,993	0,981	0,991	0,994	0,983	0,998	0,987	0,839
EBM	0,970	0,994	0,994	0,995	0,999	0,988	0,950	0,960	0,981	0,997	0,981	0,983	0,999	1,000	0,893
LBM	0,970	0,985	0,998	0,998	0,999	0,987	0,950	0,960	0,968	0,997	0,982	0,992	0,999	1,000	0,893
FNIS Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,011	0,028	0,007	0,006	0,006	0,070	0,031	0,011	0,035	0,007	0,006	0,008	0,001	0,002	0,162
AWJM	0,014	0,041	0,007	0,002	0,009	0,028	0,031	0,011	0,033	0,009	0,006	0,005	0,002	0,021	0,162
USM	0,037	0,030	0,007	0,014	0,007	0,039	0,014	0,011	0,014	0,004	0,018	0,017	0,000	0,022	0,056
RUSM	0,044	0,030	0,007	0,014	0,007	0,028	0,012	0,010	0,020	0,004	0,018	0,017	0,010	0,025	0,056
ECM	0,013	0,033	0,036	0,006	0,019	0,012	0,010	0,025	0,006	0,004	0,002	0,008	0,002	0,140	0,162
CHM	0,030	0,013	0,036	0,001	0,000	0,018	0,031	0,045	0,008	0,009	0,009	0,008	0,000	0,001	0,108
EDM	0,030	0,022	0,012	0,003	0,019	0,013	0,009	0,007	0,020	0,009	0,006	0,017	0,002	0,015	0,162
EBM	0,033	0,007	0,007	0,005	0,001	0,012	0,055	0,045	0,020	0,003	0,020	0,019	0,001	0,000	0,108
LBM	0,033	0,018	0,002	0,002	0,001	0,013	0,055	0,045	0,035	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,108

EK-6. Vaka 2 geliştirilmiş ortalama, pozitif ve negatif çözümünden uzaklıklar

Genelleştirilmiş ortalama	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçapı	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,010	0,024	0,007	0,006	0,006	0,064	0,030	0,011	0,032	0,006	0,006	0,008	0,001	0,002	0,161
AWJM	0,013	0,040	0,007	0,002	0,009	0,027	0,030	0,011	0,028	0,009	0,006	0,005	0,002	0,017	0,161
USM	0,035	0,027	0,007	0,014	0,007	0,038	0,014	0,011	0,014	0,004	0,018	0,017	0,000	0,017	0,054
RUSM	0,041	0,027	0,006	0,014	0,007	0,027	0,012	0,010	0,019	0,004	0,018	0,017	0,010	0,021	0,054
ECM	0,011	0,024	0,035	0,006	0,017	0,012	0,010	0,024	0,006	0,004	0,002	0,008	0,002	0,094	0,161
CHM	0,024	0,011	0,035	0,001	0,000	0,018	0,030	0,040	0,008	0,009	0,009	0,008	0,000	0,001	0,107
EDM	0,024	0,015	0,010	0,003	0,017	0,013	0,009	0,007	0,019	0,009	0,006	0,017	0,002	0,013	0,161
EBM	0,030	0,006	0,006	0,005	0,001	0,012	0,050	0,040	0,019	0,003	0,019	0,017	0,001	0,000	0,107
LBM	0,030	0,015	0,002	0,002	0,001	0,013	0,050	0,040	0,032	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,107
Pozitif İdeal Çözüm Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçapı	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,031	0,016	0,028	0,008	0,011	0,000	0,021	0,029	0,000	0,002	0,013	0,010	0,010	0,093	0,000
AWJM	0,028	0,000	0,028	0,012	0,009	0,037	0,021	0,029	0,004	0,000	0,013	0,012	0,009	0,078	0,000
USM	0,006	0,013	0,028	0,000	0,010	0,026	0,036	0,029	0,018	0,005	0,001	0,001	0,010	0,077	0,107
RUSM	0,000	0,013	0,029	0,000	0,010	0,037	0,038	0,031	0,013	0,005	0,001	0,001	0,000	0,074	0,107
ECM	0,030	0,015	0,000	0,008	0,000	0,052	0,040	0,017	0,026	0,005	0,017	0,009	0,009	0,000	0,000
CHM	0,017	0,029	0,000	0,013	0,017	0,046	0,021	0,000	0,025	0,000	0,010	0,009	0,010	0,093	0,054
EDM	0,017	0,024	0,025	0,011	0,000	0,051	0,041	0,033	0,013	0,000	0,013	0,001	0,009	0,082	0,000
EBM	0,011	0,034	0,029	0,009	0,016	0,052	0,000	0,000	0,013	0,006	0,000	0,000	0,009	0,094	0,054
LBM	0,011	0,024	0,033	0,012	0,017	0,051	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,009	0,009	0,094	0,054
Negatif İdeal Çözüm Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçapı	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,000	0,018	0,005	0,005	0,006	0,052	0,020	0,004	0,026	0,003	0,004	0,002	0,000	0,002	0,107
AWJM	0,003	0,034	0,005	0,001	0,008	0,016	0,020	0,004	0,022	0,006	0,004	0,000	0,002	0,017	0,107
USM	0,025	0,021	0,005	0,013	0,007	0,026	0,005	0,004	0,008	0,001	0,016	0,011	0,000	0,017	0,000
RUSM	0,031	0,021	0,004	0,013	0,007	0,016	0,003	0,002	0,013	0,001	0,016	0,011	0,010	0,021	0,000
ECM	0,001	0,019	0,033	0,005	0,017	0,000	0,001	0,017	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,094	0,107
CHM	0,014	0,005	0,033	0,000	0,000	0,006	0,020	0,033	0,002	0,006	0,007	0,003	0,000	0,001	0,054
EDM	0,014	0,009	0,008	0,002	0,017	0,001	0,000	0,000	0,013	0,006	0,004	0,011	0,002	0,013	0,107
EBM	0,020	0,000	0,004	0,004	0,001	0,000	0,041	0,033	0,013	0,000	0,017	0,012	0,001	0,000	0,054
LBM	0,020	0,009	0,000	0,001	0,000	0,001	0,041	0,033	0,026	0,000	0,016	0,003	0,001	0,000	0,054

EK-7. Vaka 2 karar matrisi (BNP'ye dayalı BTOPSIS)

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,030	0,050	0,120	0,250	0,600	1,250	0,020	0,025	0,030	0,150	0,200	0,250	0,004	0,005	0,006
AWJM	0,026	0,040	0,060	0,200	0,300	0,400	0,020	0,025	0,030	0,400	0,500	0,600	0,003	0,003	0,004
USM	0,010	0,013	0,025	0,250	0,500	0,750	0,020	0,025	0,030	0,070	0,080	0,090	0,003	0,004	0,005
RUSM	0,008	0,012	0,022	0,250	0,500	0,750	0,025	0,025	0,030	0,070	0,080	0,090	0,003	0,004	0,005
ECM	0,025	0,050	0,100	0,200	1,000	1,500	0,004	0,005	0,006	0,150	0,200	0,250	0,001	0,002	0,003
CHM	0,010	0,030	0,080	0,500	2,000	2,500	0,004	0,005	0,006	1,150	1,250	1,350	0,200	0,300	0,400
EDM	0,010	0,025	0,100	0,300	2,000	3,000	0,010	0,020	0,030	0,300	0,400	0,500	0,001	0,002	0,003
EBM	0,010	0,020	0,030	1,000	3,000	4,000	0,025	0,025	0,030	0,150	0,250	0,350	0,015	0,020	0,025
LBM	0,010	0,020	0,030	0,400	1,000	1,500	0,050	0,100	0,150	0,400	0,500	0,600	0,040	0,050	0,060
Kriterler	Yatırım			Takım/Fıktür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000
AWJM	3,000	4,000	5,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
USM	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	5,000	6,000	7,000	3,000	4,000	5,000	5,000	6,000	7,000
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
ECM	8,000	9,000	10,000	7,000	8,000	9,000	2,000	3,000	4,000	8,000	9,000	10,000	6,000	7,000	8,000
CHM	5,000	6,000	7,000	2,000	3,000	4,000	1,000	2,000	3,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000
EDM	7,000	8,000	9,000	8,000	9,000	10,000	8,000	9,000	10,000	2,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
EBM	8,000	9,000	10,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	7,000	8,000	9,000
LBM	7,000	8,000	9,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	7,000	8,000	9,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Süper Alaşım		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,140	0,150	0,160	0,090	0,100	0,150	8,000	10,000	12,000	20,000	50,000	200,000	8,000	9,000	10,000
AWJM	0,140	0,150	0,160	0,140	0,150	0,160	25,000	30,000	35,000	300,000	600,000	2000,000	8,000	9,000	10,000
USM	0,040	0,050	0,060	0,040	0,050	0,060	2,000	2,500	3,000	300,000	600,000	2100,000	2,000	3,000	4,000
RUSM	0,040	0,050	0,060	0,040	0,050	0,060	160,000	180,000	200,000	400,000	800,000	2400,000	2,000	3,000	4,000
ECM	0,400	0,500	0,600	0,090	0,100	0,110	25,000	30,000	35,000	500,000	2000,000	14000,000	8,000	9,000	10,000
CHM	0,090	0,100	0,110	0,090	0,100	0,110	2,000	3,000	3,500	15,000	40,000	140,000	5,000	6,000	7,000
EDM	0,140	0,150	0,160	0,040	0,050	0,060	25,000	30,000	35,000	100,000	800,000	1300,000	8,000	9,000	10,000
EBM	0,035	0,040	0,100	0,035	0,040	0,100	12,000	15,000	18,000	0,300	2,000	6,000	5,000	6,000	7,000
LBM	0,040	0,050	0,060	0,090	0,100	0,110	17,000	20,000	23,000	0,100	2,000	5,000	5,000	6,000	7,000

EK-8. Vaka 2 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris

BNP	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,067	0,700	0,025	0,200	0,005	2,000	3,000	6,000	2,000	4,000	0,150	0,113	10,000	90,000	9,000
AWJM	0,042	0,300	0,025	0,500	0,003	4,000	3,000	6,000	2,667	3,000	0,150	0,150	30,000	966,667	9,000
USM	0,016	0,500	0,025	0,080	0,004	3,000	6,000	6,000	4,000	6,000	0,050	0,050	2,500	1000,000	3,000
RUSM	0,014	0,500	0,027	0,080	0,004	4,000	7,000	7,000	3,000	6,000	0,050	0,050	180,000	1200,000	3,000
ECM	0,058	0,900	0,005	0,200	0,002	9,000	8,000	3,000	9,000	7,000	0,500	0,100	30,000	5500,000	9,000
CHM	0,040	1,667	0,005	1,250	0,300	6,000	3,000	2,000	7,000	3,000	0,100	0,100	2,833	65,000	6,000
EDM	0,045	1,767	0,020	0,400	0,002	8,000	9,000	9,000	3,000	3,000	0,150	0,050	30,000	733,333	9,000
EBM	0,020	2,667	0,027	0,250	0,020	9,000	2,000	2,000	3,000	8,000	0,058	0,058	15,000	2,767	6,000
LBM	0,020	0,967	0,100	0,500	0,050	8,000	2,000	2,000	2,000	8,000	0,050	0,100	20,000	2,367	6,000
Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,210	0,429	0,200	0,400	0,400	1,000	0,667	0,333	1,000	0,750	0,333	0,441	0,056	0,016	1,000
AWJM	0,333	1,000	0,200	0,160	0,600	0,500	0,667	0,333	0,750	1,000	0,333	0,333	0,167	0,176	1,000
USM	0,875	0,600	0,200	1,000	0,500	0,667	0,333	0,333	0,500	0,500	1,000	1,000	0,014	0,182	0,333
RUSM	1,000	0,600	0,188	1,000	0,500	0,500	0,286	0,286	0,667	0,500	1,000	1,000	1,000	0,218	0,333
ECM	0,240	0,333	1,000	0,400	1,000	0,222	0,250	0,667	0,222	0,429	0,100	0,500	0,167	1,000	1,000
CHM	0,350	0,180	1,000	0,064	0,007	0,333	0,667	1,000	0,286	1,000	0,500	0,500	0,016	0,012	0,667
EDM	0,311	0,170	0,250	0,200	1,000	0,250	0,222	0,222	0,667	1,000	0,333	1,000	0,167	0,133	1,000
EBM	0,700	0,113	0,188	0,320	0,100	0,222	1,000	1,000	0,667	0,375	0,857	0,857	0,083	0,001	0,667
LBM	0,700	0,310	0,050	0,160	0,040	0,250	1,000	1,000	1,000	0,375	1,000	0,500	0,111	0,000	0,667
Ağırlıklı Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,013	0,024	0,009	0,006	0,011	0,104	0,055	0,022	0,053	0,009	0,008	0,010	0,001	0,004	0,179
AWJM	0,020	0,055	0,009	0,003	0,017	0,052	0,055	0,022	0,040	0,012	0,008	0,008	0,002	0,042	0,179
USM	0,053	0,033	0,009	0,016	0,014	0,070	0,027	0,022	0,026	0,006	0,025	0,023	0,000	0,044	0,060
RUSM	0,061	0,033	0,008	0,016	0,014	0,052	0,023	0,019	0,035	0,006	0,025	0,023	0,011	0,052	0,060
ECM	0,015	0,018	0,043	0,006	0,028	0,023	0,021	0,044	0,012	0,005	0,003	0,012	0,002	0,240	0,179
CHM	0,021	0,010	0,043	0,001	0,000	0,035	0,055	0,066	0,015	0,012	0,013	0,012	0,000	0,003	0,119
EDM	0,019	0,009	0,011	0,003	0,028	0,026	0,018	0,015	0,035	0,012	0,008	0,023	0,002	0,032	0,179
EBM	0,042	0,006	0,008	0,005	0,003	0,023	0,082	0,066	0,035	0,005	0,022	0,020	0,001	0,000	0,119
LBM	0,042	0,017	0,002	0,003	0,001	0,026	0,082	0,066	0,053	0,005	0,025	0,012	0,001	0,000	0,119

EK-9. Vaka 2 BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklıklar

Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,000
AWJM	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,000
USM	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,014
RUSM	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035	0,014
ECM	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	0,004	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
CHM	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,005	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,004
EDM	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,006	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000
EBM	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,004
LBM	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,004
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Süper Alaşım
AJM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
AWJM	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,014
USM	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000
RUSM	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000
ECM	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,014
CHM	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
EDM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,014
EBM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
LBM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004

EK-10. Vaka 3 karar matrisi

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlama			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
RUSM	0,022	0,012	0,008	0,750	0,500	0,250	0,0300	0,0250	0,0250	0,090	0,080	0,070	0,005	0,004	0,003
EDM	0,100	0,025	0,010	3,000	2,000	0,300	0,0300	0,0200	0,0100	0,500	0,400	0,300	0,003	0,002	0,001
EBM	0,030	0,020	0,010	4,000	3,000	1,000	0,0300	0,0250	0,0250	0,350	0,250	0,150	0,025	0,020	0,015
LBM	0,030	0,020	0,010	1,500	1,000	0,400	0,1500	0,1000	0,0500	0,600	0,500	0,400	0,060	0,050	0,040
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
EDM	7,000	8,000	9,000	8,000	9,000	10,000	8,000	9,000	10,000	2,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
EBM	8,000	9,000	10,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	7,000	8,000	9,000
LBM	7,000	8,000	9,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	7,000	8,000	9,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
RUSM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	160,000	180,000	200,000	400,00	800,00	2400,00	5,00	6,00	7,00
EDM	0,160	0,150	0,140	0,060	0,050	0,040	25,000	30,000	35,000	100,00	800,00	1300,00	8,00	9,00	10,00
EBM	0,100	0,040	0,035	0,100	0,040	0,035	12,000	15,000	18,000	0,30	2,00	6,00	5,00	6,00	7,00
LBM	0,060	0,050	0,040	0,110	0,100	0,090	17,000	20,000	23,000	0,10	2,00	5,00	5,00	6,00	7,00

EK-1.1. Vaka 3 normalize matris

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçapı			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,364	0,667	1,000	0,333	0,500	1,000	0,3333	0,4000	0,4000	0,778	0,875	1,000	0,200	0,250	0,333
EDM	0,080	0,320	0,800	0,083	0,125	0,833	0,3333	0,5000	1,0000	0,140	0,175	0,233	0,333	0,500	1,000
EBM	0,267	0,400	0,800	0,063	0,083	0,250	0,3333	0,4000	0,4000	0,200	0,280	0,467	0,040	0,050	0,067
LBM	0,267	0,400	0,800	0,167	0,250	0,625	0,0667	0,1000	0,2000	0,117	0,140	0,175	0,017	0,020	0,025
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,600	0,750	1,000	0,125	0,143	0,167	0,125	0,143	0,167	0,250	0,333	0,500	0,286	0,333	0,400
EDM	0,333	0,375	0,429	0,100	0,111	0,125	0,100	0,111	0,125	0,250	0,333	0,500	0,500	0,667	1,000
EBM	0,300	0,333	0,375	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,250	0,333	0,500	0,222	0,250	0,286
LBM	0,333	0,375	0,429	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,222	0,250	0,286
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Malzeme		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,583	0,700	0,875	0,583	0,700	0,875	0,800	0,900	1,000	0,17	0,33	1,00	0,50	0,60	0,70
EDM	0,219	0,233	0,250	0,583	0,700	0,875	0,125	0,150	0,175	0,04	0,33	0,54	0,80	0,90	1,00
EBM	0,350	0,875	1,000	0,350	0,875	1,000	0,060	0,075	0,090	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,70
LBM	0,583	0,700	0,875	0,318	0,350	0,389	0,085	0,100	0,115	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,70

EK-12. Vaka 3 ağırlıklı normalize matris

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,022	0,040	0,061	0,018	0,028	0,055	0,014	0,017	0,017	0,012	0,014	0,016	0,006	0,007	0,009
EDM	0,005	0,019	0,049	0,005	0,007	0,046	0,014	0,021	0,043	0,002	0,003	0,004	0,009	0,014	0,028
EBM	0,016	0,024	0,049	0,003	0,005	0,014	0,014	0,017	0,017	0,003	0,004	0,007	0,001	0,001	0,002
LBM	0,016	0,024	0,049	0,009	0,014	0,034	0,003	0,004	0,009	0,002	0,002	0,003	0,000	0,001	0,001
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,063	0,078	0,104	0,010	0,012	0,014	0,008	0,009	0,011	0,013	0,018	0,026	0,004	0,004	0,005
EDM	0,035	0,039	0,045	0,008	0,009	0,010	0,007	0,007	0,008	0,013	0,018	0,026	0,006	0,008	0,012
EBM	0,031	0,035	0,039	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,013	0,018	0,026	0,003	0,003	0,004
LBM	0,035	0,039	0,045	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,018	0,026	0,053	0,003	0,003	0,004
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,015	0,018	0,022	0,014	0,016	0,020	0,009	0,010	0,011	0,040	0,080	0,240	0,090	0,107	0,125
EDM	0,006	0,006	0,006	0,014	0,016	0,020	0,001	0,002	0,002	0,010	0,080	0,130	0,143	0,161	0,179
EBM	0,009	0,022	0,025	0,008	0,020	0,023	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,090	0,107	0,125
LBM	0,015	0,018	0,022	0,007	0,008	0,009	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,090	0,107	0,125

EK-13. Pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklar – Chen metodu

FPIS Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yançap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
RUSM	0,959	0,966	0,984	0,986	0,993	0,918	0,988	0,990
EDM	0,976	0,981	0,974	0,997	0,983	0,960	0,991	0,993
EBM	0,970	0,993	0,984	0,995	0,999	0,965	0,950	0,960
LBM	0,970	0,981	0,995	0,998	0,999	0,960	0,950	0,960
FPIS Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
RUSM	0,981	0,996	0,982	0,983	0,990	0,884	0,893	
EDM	0,981	0,991	0,994	0,983	0,998	0,928	0,839	
EBM	0,981	0,997	0,981	0,983	0,999	1,000	0,893	
LBM	0,968	0,997	0,982	0,992	0,999	1,000	0,893	
FNIS Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yançap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
RUSM	0,044	0,037	0,016	0,014	0,007	0,084	0,012	0,010
EDM	0,030	0,027	0,029	0,003	0,019	0,040	0,009	0,007
EBM	0,033	0,009	0,016	0,005	0,001	0,035	0,055	0,045
LBM	0,033	0,022	0,006	0,002	0,001	0,040	0,055	0,045
FNIS Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
RUSM	0,020	0,004	0,018	0,017	0,010	0,148	0,108	
EDM	0,020	0,009	0,006	0,017	0,002	0,088	0,162	
EBM	0,020	0,003	0,020	0,019	0,001	0,000	0,108	
LBM	0,035	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,108	

EK-14. Vaka 3 geliştirilmiş ortalama, pozitif ve negatif çözümde uzaklıklar

Genelleştirilmiş ortalama	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlar	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	0,041	0,034	0,016	0,014	0,007	0,082	0,012	0,010	0,019	0,004	0,018	0,017	0,010	0,120	0,107
EDM	0,024	0,019	0,026	0,003	0,017	0,040	0,009	0,007	0,019	0,009	0,006	0,017	0,002	0,073	0,161
EBM	0,030	0,007	0,016	0,005	0,001	0,035	0,050	0,040	0,019	0,003	0,019	0,017	0,001	0,000	0,107
LBM	0,030	0,019	0,005	0,002	0,001	0,040	0,050	0,040	0,032	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,107
Pozitif İdeal Çözüm Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlar	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,038	0,031	0,013	0,005	0,001	0,001	0,000	0,000	0,054
EDM	0,017	0,015	0,000	0,011	0,000	0,042	0,041	0,033	0,013	0,000	0,013	0,001	0,009	0,047	0,000
EBM	0,011	0,026	0,010	0,009	0,016	0,047	0,000	0,000	0,013	0,006	0,000	0,000	0,009	0,120	0,054
LBM	0,011	0,015	0,021	0,012	0,017	0,042	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,009	0,009	0,120	0,054
Negatif İdeal Çözüm Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlar	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	0,017	0,026	0,011	0,012	0,007	0,047	0,003	0,002	0,000	0,001	0,012	0,009	0,009	0,120	0,000
EDM	0,000	0,012	0,021	0,001	0,017	0,004	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,009	0,001	0,073	0,054
EBM	0,005	0,000	0,011	0,003	0,001	0,000	0,041	0,033	0,000	0,000	0,013	0,009	0,000	0,000	0,000
LBM	0,005	0,012	0,000	0,000	0,000	0,004	0,041	0,033	0,013	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,008	0,012	0,022	0,250	0,500	0,750	0,025	0,025	0,030	0,070	0,080	0,090	0,003	0,004	0,005
EDM	0,010	0,025	0,100	0,300	2,000	3,000	0,010	0,020	0,030	0,300	0,400	0,500	0,001	0,002	0,003
EBM	0,010	0,020	0,030	1,000	3,000	4,000	0,025	0,025	0,030	0,150	0,250	0,350	0,015	0,020	0,025
LBM	0,010	0,020	0,030	0,400	1,000	1,500	0,050	0,100	0,150	0,400	0,500	0,600	0,040	0,050	0,060
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
EDM	7,000	8,000	9,000	8,000	9,000	10,000	8,000	9,000	10,000	2,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
EBM	8,000	9,000	10,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	7,000	8,000	9,000
LBM	7,000	8,000	9,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	7,000	8,000	9,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
RUSM	0,040	0,050	0,060	0,040	0,050	0,060	160,000	180,000	200,000	400,000	800,000	2400,000	5,000	6,000	7,000
EDM	0,140	0,150	0,160	0,040	0,050	0,060	25,000	30,000	35,000	100,000	800,000	1300,000	8,000	9,000	10,000
EBM	0,035	0,040	0,100	0,035	0,040	0,100	12,000	15,000	18,000	0,300	2,000	6,000	5,000	6,000	7,000
LBM	0,040	0,050	0,060	0,090	0,100	0,110	17,000	20,000	23,000	0,100	2,000	5,000	5,000	6,000	7,000

EK-16. Vaka 3 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris

BNP	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı ₁	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	0,014	0,500	0,027	0,080	0,004	4,000	7,000	7,000	3,000	6,000	0,050	0,050	180,000	1200,000	6,000
EDM	0,045	1,767	0,020	0,400	0,002	8,000	9,000	9,000	3,000	3,000	0,150	0,050	30,000	733,333	9,000
EBM	0,020	2,667	0,027	0,250	0,020	9,000	2,000	2,000	3,000	8,000	0,058	0,058	15,000	2,767	6,000
LBM	0,020	0,967	0,100	0,500	0,050	8,000	2,000	2,000	2,000	8,000	0,050	0,100	20,000	2,367	6,000
Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı ₁	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	1,000	1,000	0,750	1,000	0,500	1,000	0,286	0,286	0,667	0,500	1,000	1,000	1,000	1,000	0,667
EDM	0,311	0,283	1,000	0,200	1,000	0,500	0,222	0,222	0,667	1,000	0,333	1,000	0,167	0,611	1,000
EBM	0,700	0,188	0,750	0,320	0,100	0,444	1,000	1,000	0,667	0,375	0,857	0,857	0,083	0,002	0,667
LBM	0,700	0,517	0,200	0,160	0,040	0,500	1,000	1,000	1,000	0,375	1,000	0,500	0,111	0,002	0,667
Ağırlıklı Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı ₁	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	0,061	0,055	0,032	0,016	0,014	0,104	0,023	0,019	0,035	0,006	0,025	0,023	0,011	0,240	0,119
EDM	0,019	0,016	0,043	0,003	0,028	0,052	0,018	0,015	0,035	0,012	0,008	0,023	0,002	0,147	0,179
EBM	0,042	0,010	0,032	0,005	0,003	0,046	0,082	0,066	0,035	0,005	0,022	0,020	0,001	0,001	0,119
LBM	0,042	0,029	0,009	0,003	0,001	0,052	0,082	0,066	0,053	0,005	0,025	0,012	0,001	0,000	0,119

EK-17. BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklar

Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
EDM	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000
EBM	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,004
LBM	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,004
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme
RUSM	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,000
EDM	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,004
EBM	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LBM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

EK-18. Vaka 4 karar matrisi

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,120	0,050	0,030	1,250	0,600	0,250	0,0300	0,0250	0,0200	0,250	0,200	0,150	0,006	0,005	0,004
RUSM	0,022	0,012	0,008	0,750	0,500	0,250	0,0300	0,0250	0,0250	0,090	0,080	0,070	0,005	0,004	0,003
ECM	0,100	0,050	0,025	1,500	1,000	0,200	0,0060	0,0050	0,0040	0,250	0,200	0,150	0,003	0,002	0,001
EDM	0,100	0,025	0,010	3,000	2,000	0,300	0,0300	0,0200	0,0100	0,500	0,400	0,300	0,003	0,002	0,001
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
ECM	8,000	9,000	10,000	7,000	8,000	9,000	2,000	3,000	4,000	8,000	9,000	10,000	6,000	7,000	8,000
EDM	7,000	8,000	9,000	8,000	9,000	10,000	8,000	9,000	10,000	2,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,160	0,150	0,140	0,150	0,100	0,090	8,000	10,000	12,000	20,00	50,00	200,00	5,00	6,00	7,00
RUSM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	160,000	180,000	200,000	400,00	800,00	2400,00	5,00	6,00	7,00
ECM	0,600	0,500	0,400	0,110	0,100	0,090	25,000	30,000	35,000	500,00	2000,00	14000,00	8,00	9,00	10,00
EDM	0,160	0,150	0,140	0,060	0,050	0,040	25,000	30,000	35,000	100,00	800,00	1300,00	8,00	9,00	10,00

EK-19. Vaka 4 normalize matris

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlama			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,067	0,160	0,267	0,160	0,333	0,800	0,1333	0,1600	0,2000	0,280	0,350	0,467	0,167	0,200	0,250
RUSM	0,364	0,667	1,000	0,267	0,400	0,800	0,1333	0,1600	0,1600	0,778	0,875	1,000	0,200	0,250	0,333
ECM	0,080	0,160	0,320	0,133	0,200	1,000	0,6667	0,8000	1,0000	0,280	0,350	0,467	0,333	0,500	1,000
EDM	0,080	0,320	0,800	0,067	0,100	0,667	0,1333	0,2000	0,4000	0,140	0,175	0,233	0,333	0,500	1,000
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,333	0,500	1,000	0,500	0,667	1,000	0,286	0,333	0,400	0,333	0,500	1,000	0,400	0,500	0,667
RUSM	0,200	0,250	0,333	0,250	0,286	0,333	0,250	0,286	0,333	0,250	0,333	0,500	0,286	0,333	0,400
ECM	0,100	0,111	0,125	0,222	0,250	0,286	0,500	0,667	1,000	0,100	0,111	0,125	0,250	0,286	0,333
EDM	0,111	0,125	0,143	0,200	0,222	0,250	0,200	0,222	0,250	0,250	0,333	0,500	0,500	0,667	1,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,250	0,267	0,286	0,267	0,400	0,444	0,040	0,050	0,060	0,00	0,00	0,01	0,50	0,60	0,70
RUSM	0,667	0,800	1,000	0,667	0,800	1,000	0,800	0,900	1,000	0,03	0,06	0,17	0,50	0,60	0,70
ECM	0,067	0,080	0,100	0,364	0,400	0,444	0,125	0,150	0,175	0,04	0,14	1,00	0,80	0,90	1,00
EDM	0,250	0,267	0,286	0,667	0,800	1,000	0,125	0,150	0,175	0,01	0,06	0,09	0,80	0,90	1,00

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlama			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,004	0,010	0,016	0,009	0,018	0,044	0,006	0,007	0,009	0,004	0,006	0,007	0,005	0,006	0,007
RUSM	0,022	0,040	0,061	0,015	0,022	0,044	0,006	0,007	0,007	0,012	0,014	0,016	0,006	0,007	0,009
ECM	0,005	0,010	0,019	0,007	0,011	0,055	0,029	0,034	0,043	0,004	0,006	0,007	0,009	0,014	0,028
EDM	0,005	0,019	0,049	0,004	0,006	0,037	0,006	0,009	0,017	0,002	0,003	0,004	0,009	0,014	0,028
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,035	0,052	0,104	0,041	0,055	0,082	0,019	0,022	0,027	0,018	0,026	0,053	0,005	0,006	0,008
RUSM	0,021	0,026	0,035	0,021	0,023	0,027	0,017	0,019	0,022	0,013	0,018	0,026	0,004	0,004	0,005
ECM	0,010	0,012	0,013	0,018	0,021	0,023	0,033	0,044	0,066	0,005	0,006	0,007	0,003	0,004	0,004
EDM	0,012	0,013	0,015	0,016	0,018	0,021	0,013	0,015	0,017	0,013	0,018	0,026	0,006	0,008	0,012
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Çelik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,006	0,007	0,007	0,006	0,009	0,010	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,003	0,090	0,107	0,125
RUSM	0,017	0,020	0,025	0,016	0,019	0,023	0,009	0,010	0,011	0,007	0,014	0,041	0,090	0,107	0,125
ECM	0,002	0,002	0,003	0,009	0,009	0,010	0,001	0,002	0,002	0,009	0,034	0,240	0,143	0,161	0,179
EDM	0,006	0,007	0,007	0,016	0,019	0,023	0,001	0,002	0,002	0,002	0,014	0,022	0,143	0,161	0,179

EK-21. Vaka 4 pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklıklar

FPIS Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,990	0,976	0,993	0,994	0,994	0,937	0,941	0,977
RUSM	0,959	0,973	0,994	0,986	0,993	0,973	0,976	0,981
ECM	0,989	0,976	0,965	0,994	0,983	0,988	0,979	0,952
EDM	0,976	0,985	0,990	0,997	0,983	0,987	0,982	0,985
FPIS Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	0,968	0,994	0,993	0,991	0,999	0,998	0,893	
RUSM	0,981	0,996	0,979	0,981	0,990	0,980	0,893	
ECM	0,994	0,996	0,998	0,991	0,998	0,912	0,839	
EDM	0,981	0,991	0,993	0,981	0,998	0,987	0,839	
FNIS Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,011	0,028	0,007	0,006	0,006	0,070	0,062	0,023
RUSM	0,044	0,030	0,007	0,014	0,007	0,028	0,024	0,019
ECM	0,013	0,033	0,036	0,006	0,019	0,012	0,021	0,050
EDM	0,030	0,022	0,012	0,003	0,019	0,013	0,018	0,015
FNIS Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	0,035	0,007	0,007	0,009	0,001	0,002	0,108	
RUSM	0,020	0,004	0,021	0,020	0,010	0,025	0,108	
ECM	0,006	0,004	0,002	0,009	0,002	0,140	0,162	
EDM	0,020	0,009	0,007	0,020	0,002	0,015	0,162	

EK-22. Vaka4 genelleştirilmiş ortalama, pozitif ve negatif çözümden uzaklıklar

Genelleştirilmiş ortalama	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik
AJM	0,010	0,024	0,007	0,006	0,006	0,064	0,059	0,023	0,032	0,006	0,007	0,009	0,001	0,002	0,107
RUSM	0,041	0,027	0,006	0,014	0,007	0,027	0,024	0,019	0,019	0,004	0,021	0,019	0,010	0,021	0,107
ECM	0,011	0,024	0,035	0,006	0,017	0,012	0,021	0,048	0,006	0,004	0,002	0,009	0,002	0,094	0,161
EDM	0,024	0,015	0,010	0,003	0,017	0,013	0,018	0,015	0,019	0,009	0,007	0,019	0,002	0,013	0,161
Pozitif İdeal Çözüm Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik
AJM	0,031	0,003	0,028	0,008	0,011	0,000	0,000	0,025	0,000	0,002	0,014	0,011	0,010	0,093	0,054
RUSM	0,000	0,000	0,029	0,000	0,010	0,037	0,036	0,029	0,013	0,005	0,000	0,000	0,000	0,074	0,054
ECM	0,030	0,002	0,000	0,008	0,000	0,052	0,039	0,000	0,026	0,005	0,019	0,010	0,009	0,000	0,000
EDM	0,017	0,012	0,025	0,011	0,000	0,051	0,041	0,033	0,013	0,000	0,014	0,000	0,009	0,082	0,000
Negatif İdeal Çözüm Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik
AJM	0,000	0,008	0,001	0,003	0,000	0,052	0,041	0,008	0,026	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
RUSM	0,031	0,012	0,000	0,011	0,002	0,016	0,005	0,004	0,013	0,001	0,019	0,011	0,010	0,019	0,000
ECM	0,001	0,009	0,029	0,003	0,011	0,000	0,002	0,033	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,093	0,054
EDM	0,014	0,000	0,004	0,000	0,011	0,001	0,000	0,000	0,013	0,005	0,005	0,011	0,001	0,011	0,054

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,030	0,050	0,120	0,250	0,600	1,250	0,020	0,025	0,030	0,150	0,200	0,250	0,004	0,005	0,006
RUSM	0,008	0,012	0,022	0,250	0,500	0,750	0,025	0,025	0,030	0,070	0,080	0,090	0,003	0,004	0,005
ECM	0,025	0,050	0,100	0,200	1,000	1,500	0,004	0,005	0,006	0,150	0,200	0,250	0,001	0,002	0,003
EDM	0,010	0,025	0,100	0,300	2,000	3,000	0,010	0,020	0,030	0,300	0,400	0,500	0,001	0,002	0,003
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
ECM	8,000	9,000	10,000	7,000	8,000	9,000	2,000	3,000	4,000	8,000	9,000	10,000	6,000	7,000	8,000
EDM	7,000	8,000	9,000	8,000	9,000	10,000	8,000	9,000	10,000	2,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Malzeme		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,140	0,150	0,160	0,090	0,100	0,150	8,000	10,000	12,000	20,000	50,000	200,00	5,000	6,000	7,000
RUSM	0,040	0,050	0,060	0,040	0,050	0,060	160,000	180,000	200,000	400,000	800,000	2400,00	5,000	6,000	7,000
ECM	0,400	0,500	0,600	0,090	0,100	0,110	25,000	30,000	35,000	500,000	2000,000	14000,00	8,000	9,000	10,000
EDM	0,140	0,150	0,160	0,040	0,050	0,060	25,000	30,000	35,000	100,000	800,000	1300,00	8,000	9,000	10,000

EK-24. Vaka 4 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris

BNP	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlam a	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik
AJM	0,067	0,700	0,025	0,200	0,005	2,000	3,000	6,000	2,000	4,000	0,150	0,113	10,000	90,000	6,000
RUSM	0,014	0,500	0,027	0,080	0,004	4,000	7,000	7,000	3,000	6,000	0,050	0,050	180,000	1200,000	6,000
ECM	0,058	0,900	0,005	0,200	0,002	9,000	8,000	3,000	9,000	7,000	0,500	0,100	30,000	5500,000	9,000
EDM	0,045	1,767	0,020	0,400	0,002	8,000	9,000	9,000	3,000	3,000	0,150	0,050	30,000	733,333	9,000
Normaliz e Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlam a	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik
AJM	0,210	0,714	0,200	0,400	0,400	1,000	1,000	0,500	1,000	0,750	0,333	0,441	0,056	0,016	0,667
RUSM	1,000	1,000	0,188	1,000	0,500	0,500	0,429	0,429	0,667	0,500	1,000	1,000	1,000	0,218	0,667
ECM	0,240	0,556	1,000	0,400	1,000	0,222	0,375	1,000	0,222	0,429	0,100	0,500	0,167	1,000	1,000
EDM	0,311	0,283	0,250	0,200	1,000	0,250	0,333	0,333	0,667	1,000	0,333	1,000	0,167	0,133	1,000
Ağırlıklı Normaliz e Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlam a	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Çelik
AJM	0,013	0,039	0,009	0,006	0,011	0,104	0,082	0,033	0,053	0,009	0,008	0,010	0,001	0,004	0,119
RUSM	0,061	0,055	0,008	0,016	0,014	0,052	0,035	0,028	0,035	0,006	0,025	0,023	0,011	0,052	0,119
ECM	0,015	0,031	0,043	0,006	0,028	0,023	0,031	0,066	0,012	0,005	0,003	0,012	0,002	0,240	0,179
EDM	0,019	0,016	0,011	0,003	0,028	0,026	0,027	0,022	0,035	0,012	0,008	0,023	0,002	0,032	0,179

EK-25. Vaka 4 BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklıklar

Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
RUSM	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001
ECM	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,000
EDM	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,006	0,003	0,002
Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,004	
RUSM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035	0,004	
ECM	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	
EDM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,000
RUSM	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
ECM	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
EDM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
RUSM	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	
ECM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,004	
EDM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	

EK-26. Vaka 5 karar matrisi

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,120	0,050	0,030	1,250	0,600	0,250	0,0300	0,0250	0,0200	0,250	0,200	0,150	0,006	0,005	0,004
AWJM	0,060	0,040	0,026	0,400	0,300	0,200	0,0300	0,0250	0,0200	0,600	0,500	0,400	0,004	0,003	0,003
USM	0,025	0,013	0,010	0,750	0,500	0,250	0,0300	0,0250	0,0200	0,090	0,080	0,070	0,005	0,004	0,003
RUSM	0,022	0,012	0,008	0,750	0,500	0,250	0,0300	0,0250	0,0250	0,090	0,080	0,070	0,005	0,004	0,003
CHM	0,080	0,030	0,010	2,500	2,000	0,500	0,0060	0,0050	0,0040	1,350	1,250	1,150	0,400	0,300	0,200
EBM	0,030	0,020	0,010	4,000	3,000	1,000	0,0300	0,0250	0,0250	0,350	0,250	0,150	0,025	0,020	0,015
LBM	0,030	0,020	0,010	1,500	1,000	0,400	0,1500	0,1000	0,0500	0,600	0,500	0,400	0,060	0,050	0,040
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000
AWJM	3,000	4,000	5,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
USM	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	5,000	6,000	7,000	3,000	4,000	5,000	5,000	6,000	7,000
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
CHM	5,000	6,000	7,000	2,000	3,000	4,000	1,000	2,000	3,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000
EBM	8,000	9,000	10,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	7,000	8,000	9,000
LBM	7,000	8,000	9,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	7,000	8,000	9,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Seramik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,160	0,150	0,140	0,150	0,100	0,090	8,000	10,000	12,000	20,00	50,00	200,00	8,00	9,00	10,00
AWJM	0,160	0,150	0,140	0,160	0,150	0,140	25,000	30,000	35,000	300,00	600,00	2000,00	8,00	9,00	10,00
USM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	2,000	2,500	3,000	300,00	600,00	2100,00	8,00	9,00	10,00
RUSM	0,060	0,050	0,040	0,060	0,050	0,040	160,000	180,000	200,000	400,00	800,00	2400,00	8,00	9,00	10,00
CHM	0,110	0,100	0,090	0,110	0,100	0,090	2,000	3,000	3,500	15,00	40,00	140,00	2,00	3,00	4,00
EBM	0,100	0,040	0,035	0,100	0,040	0,035	12,000	15,000	18,000	0,30	2,00	6,00	8,00	9,00	10,00
LBM	0,060	0,050	0,040	0,110	0,100	0,090	17,000	20,000	23,000	0,10	2,00	5,00	8,00	9,00	10,00

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,067	0,160	0,267	0,160	0,333	0,800	0,1333	0,1600	0,2000	0,280	0,350	0,467	0,500	0,600	0,750
AWJM	0,133	0,200	0,308	0,500	0,667	1,000	0,1333	0,1600	0,2000	0,117	0,140	0,175	0,750	1,000	1,000
USM	0,320	0,615	0,800	0,267	0,400	0,800	0,1333	0,1600	0,2000	0,778	0,875	1,000	0,600	0,750	1,000
RUSM	0,364	0,667	1,000	0,267	0,400	0,800	0,1333	0,1600	0,1600	0,778	0,875	1,000	0,600	0,750	1,000
CHM	0,100	0,267	0,800	0,080	0,100	0,400	0,6667	0,8000	1,0000	0,052	0,056	0,061	0,008	0,010	0,015
EBM	0,267	0,400	0,800	0,050	0,067	0,200	0,1333	0,1600	0,1600	0,200	0,280	0,467	0,120	0,150	0,200
LBM	0,267	0,400	0,800	0,133	0,200	0,500	0,0267	0,0400	0,0800	0,117	0,140	0,175	0,050	0,060	0,075
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,333	0,500	1,000	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,333	0,500	1,000	0,400	0,500	0,667
AWJM	0,200	0,250	0,333	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	1,000	0,500	0,667	1,000
USM	0,250	0,333	0,500	0,143	0,167	0,200	0,143	0,167	0,200	0,200	0,250	0,333	0,286	0,333	0,400
RUSM	0,200	0,250	0,333	0,125	0,143	0,167	0,125	0,143	0,167	0,250	0,333	0,500	0,286	0,333	0,400
CHM	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	0,333	0,500	1,000	0,125	0,143	0,167	0,500	0,667	1,000
EBM	0,100	0,111	0,125	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,250	0,333	0,500	0,222	0,250	0,286
LBM	0,111	0,125	0,143	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,333	0,500	1,000	0,222	0,250	0,286
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Seramik		
Proses	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit	Alt limit	Ortalama	Üst Limit
AJM	0,219	0,233	0,250	0,233	0,350	0,389	0,040	0,050	0,060	0,01	0,02	0,08	0,80	0,90	1,00
AWJM	0,219	0,233	0,250	0,219	0,233	0,250	0,125	0,150	0,175	0,13	0,25	0,83	0,80	0,90	1,00
USM	0,583	0,700	0,875	0,583	0,700	0,875	0,010	0,013	0,015	0,13	0,25	0,88	0,80	0,90	1,00
RUSM	0,583	0,700	0,875	0,583	0,700	0,875	0,800	0,900	1,000	0,17	0,33	1,00	0,80	0,90	1,00
CHM	0,318	0,350	0,389	0,318	0,350	0,389	0,010	0,015	0,018	0,01	0,02	0,06	0,20	0,30	0,40
EBM	0,350	0,875	1,000	0,350	0,875	1,000	0,060	0,075	0,090	0,00	0,00	0,00	0,80	0,90	1,00
LBM	0,583	0,700	0,875	0,318	0,350	0,389	0,085	0,100	0,115	0,00	0,00	0,00	0,80	0,90	1,00

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,004	0,010	0,016	0,009	0,018	0,044	0,006	0,007	0,009	0,004	0,006	0,007	0,014	0,017	0,021
AWJM	0,008	0,012	0,019	0,028	0,037	0,055	0,006	0,007	0,009	0,002	0,002	0,003	0,021	0,028	0,028
USM	0,019	0,037	0,049	0,015	0,022	0,044	0,006	0,007	0,009	0,012	0,014	0,016	0,017	0,021	0,028
RUSM	0,022	0,040	0,061	0,015	0,022	0,044	0,006	0,007	0,007	0,012	0,014	0,016	0,017	0,021	0,028
CHM	0,006	0,016	0,049	0,004	0,006	0,022	0,029	0,034	0,043	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
EBM	0,016	0,024	0,049	0,003	0,004	0,011	0,006	0,007	0,007	0,003	0,004	0,007	0,003	0,004	0,006
LBM	0,016	0,024	0,049	0,007	0,011	0,028	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,035	0,052	0,104	0,021	0,027	0,041	0,009	0,011	0,013	0,018	0,026	0,053	0,005	0,006	0,008
AWJM	0,021	0,026	0,035	0,021	0,027	0,041	0,009	0,011	0,013	0,013	0,018	0,053	0,006	0,008	0,012
USM	0,026	0,035	0,052	0,012	0,014	0,016	0,009	0,011	0,013	0,011	0,013	0,018	0,004	0,004	0,005
RUSM	0,021	0,026	0,035	0,010	0,012	0,014	0,008	0,009	0,011	0,013	0,018	0,026	0,004	0,004	0,005
CHM	0,015	0,017	0,021	0,021	0,027	0,041	0,022	0,033	0,066	0,007	0,008	0,009	0,006	0,008	0,012
EBM	0,010	0,012	0,013	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,013	0,018	0,026	0,003	0,003	0,004
LBM	0,012	0,013	0,015	0,027	0,041	0,082	0,022	0,033	0,066	0,018	0,026	0,053	0,003	0,003	0,004
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Seramik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,006	0,006	0,006	0,005	0,008	0,009	0,000	0,001	0,001	0,002	0,005	0,020	0,143	0,161	0,179
AWJM	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006	0,001	0,002	0,002	0,030	0,060	0,200	0,143	0,161	0,179
USM	0,015	0,018	0,022	0,014	0,016	0,020	0,000	0,000	0,000	0,030	0,060	0,210	0,143	0,161	0,179
RUSM	0,015	0,018	0,022	0,014	0,016	0,020	0,009	0,010	0,011	0,040	0,080	0,240	0,143	0,161	0,179
CHM	0,008	0,009	0,010	0,007	0,008	0,009	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,014	0,036	0,054	0,072
EBM	0,009	0,022	0,025	0,008	0,020	0,023	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,143	0,161	0,179
LBM	0,015	0,018	0,022	0,007	0,008	0,009	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,143	0,161	0,179

EK-29. Vaka 5 pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklık – Chen metodu

Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,990	0,976	0,993	0,994	0,983	0,937	0,970	0,989
AWJM	0,987	0,960	0,993	0,998	0,974	0,973	0,970	0,989
USM	0,965	0,973	0,993	0,986	0,978	0,962	0,986	0,989
RUSM	0,959	0,973	0,994	0,986	0,978	0,973	0,988	0,990
CHM	0,977	0,989	0,965	0,999	1,000	0,982	0,970	0,960
EBM	0,970	0,994	0,994	0,995	0,996	0,988	0,950	0,960
LBM	0,970	0,985	0,998	0,998	0,998	0,987	0,950	0,960
Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	0,968	0,994	0,994	0,992	0,999	0,991	0,839	
AWJM	0,972	0,991	0,994	0,995	0,998	0,906	0,839	
USM	0,986	0,996	0,982	0,983	1,000	0,903	0,839	
RUSM	0,981	0,996	0,982	0,983	0,990	0,884	0,839	
CHM	0,992	0,991	0,991	0,992	1,000	0,994	0,946	
EBM	0,981	0,997	0,981	0,983	0,999	1,000	0,839	
LBM	0,968	0,997	0,982	0,992	0,999	1,000	0,839	
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlaması	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,011	0,028	0,007	0,006	0,017	0,070	0,031	0,011
AWJM	0,014	0,041	0,007	0,002	0,026	0,028	0,031	0,011
USM	0,037	0,030	0,007	0,014	0,022	0,039	0,014	0,011
RUSM	0,044	0,030	0,007	0,014	0,022	0,028	0,012	0,010
CHM	0,030	0,013	0,036	0,001	0,000	0,018	0,031	0,045
EBM	0,033	0,007	0,007	0,005	0,004	0,012	0,055	0,045
LBM	0,033	0,018	0,002	0,002	0,002	0,013	0,055	0,045
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Malzeme	
AJM	0,035	0,007	0,006	0,008	0,001	0,012	0,162	
AWJM	0,033	0,009	0,006	0,005	0,002	0,122	0,162	
USM	0,014	0,004	0,018	0,017	0,000	0,127	0,162	
RUSM	0,020	0,004	0,018	0,017	0,010	0,148	0,162	
CHM	0,008	0,009	0,009	0,008	0,000	0,008	0,056	
EBM	0,020	0,003	0,020	0,019	0,001	0,000	0,162	
LBM	0,035	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,162	

EK-30. Vaka 5 geliştirilmiş ortalama, pozitif ve negatif çözümden uzaklık

Genelleştirilmiş Ortalama	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik
AJM	0,010	0,024	0,007	0,006	0,017	0,064	0,030	0,011	0,032	0,006	0,006	0,008	0,001	0,009	0,161
AWJM	0,013	0,040	0,007	0,002	0,026	0,027	0,030	0,011	0,028	0,009	0,006	0,005	0,002	0,097	0,161
USM	0,035	0,027	0,007	0,014	0,022	0,038	0,014	0,011	0,014	0,004	0,018	0,017	0,000	0,100	0,161
RUSM	0,041	0,027	0,006	0,014	0,022	0,027	0,012	0,010	0,019	0,004	0,018	0,017	0,010	0,120	0,161
CHM	0,024	0,011	0,035	0,001	0,000	0,018	0,030	0,040	0,008	0,009	0,009	0,008	0,000	0,007	0,054
EBM	0,030	0,006	0,006	0,005	0,004	0,012	0,050	0,040	0,019	0,003	0,019	0,017	0,001	0,000	0,161
LBM	0,030	0,015	0,002	0,002	0,002	0,013	0,050	0,040	0,032	0,003	0,018	0,008	0,001	0,000	0,161
Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik
AJM	0,031	0,016	0,028	0,008	0,008	0,000	0,021	0,029	0,000	0,002	0,013	0,010	0,010	0,111	0,000
AWJM	0,028	0,000	0,028	0,012	0,000	0,037	0,021	0,029	0,004	0,000	0,013	0,012	0,009	0,023	0,000
USM	0,006	0,013	0,028	0,000	0,004	0,026	0,036	0,029	0,018	0,005	0,001	0,001	0,010	0,020	0,000
RUSM	0,000	0,013	0,029	0,000	0,004	0,037	0,038	0,031	0,013	0,005	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
CHM	0,017	0,029	0,000	0,013	0,025	0,046	0,021	0,000	0,025	0,000	0,010	0,009	0,010	0,114	0,107
EBM	0,011	0,034	0,029	0,009	0,021	0,052	0,000	0,000	0,013	0,006	0,000	0,000	0,009	0,120	0,000
LBM	0,011	0,024	0,033	0,012	0,024	0,051	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,009	0,009	0,120	0,000
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik
AJM	0,000	0,018	0,005	0,005	0,017	0,052	0,018	0,002	0,025	0,003	0,000	0,002	0,000	0,009	0,107
AWJM	0,003	0,034	0,005	0,001	0,025	0,016	0,018	0,002	0,020	0,006	0,000	0,000	0,002	0,097	0,107
USM	0,025	0,021	0,005	0,013	0,022	0,026	0,002	0,002	0,006	0,001	0,012	0,011	0,000	0,100	0,107
RUSM	0,031	0,021	0,004	0,013	0,022	0,016	0,000	0,000	0,011	0,001	0,012	0,011	0,010	0,120	0,107
CHM	0,014	0,005	0,033	0,000	0,000	0,006	0,018	0,031	0,000	0,006	0,003	0,003	0,000	0,006	0,000
EBM	0,020	0,000	0,004	0,004	0,004	0,000	0,038	0,031	0,011	0,000	0,013	0,012	0,001	0,000	0,107
LBM	0,020	0,009	0,000	0,001	0,001	0,001	0,038	0,031	0,025	0,000	0,012	0,003	0,001	0,000	0,107

EK-31. Vaka 5 karar matrisi (BNP'ye dayalı BTOPSIS)

Kriterler	Tolerans (mm)			Yüzey Kalitesi (Ra)			Yüzey Hasarlaması			Köşe Yarıçap			Taper		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,030	0,050	0,120	0,250	0,600	1,250	0,020	0,025	0,030	0,150	0,200	0,250	0,004	0,005	0,006
AWJM	0,026	0,040	0,060	0,200	0,300	0,400	0,020	0,025	0,030	0,400	0,500	0,600	0,003	0,003	0,004
USM	0,010	0,013	0,025	0,250	0,500	0,750	0,020	0,025	0,030	0,070	0,080	0,090	0,003	0,004	0,005
RUSM	0,008	0,012	0,022	0,250	0,500	0,750	0,025	0,025	0,030	0,070	0,080	0,090	0,003	0,004	0,005
CHM	0,010	0,030	0,080	0,500	2,000	2,500	0,004	0,005	0,006	1,150	1,250	1,350	0,200	0,300	0,400
EBM	0,010	0,020	0,030	1,000	3,000	4,000	0,025	0,025	0,030	0,150	0,250	0,350	0,015	0,020	0,025
LBM	0,010	0,020	0,030	0,400	1,000	1,500	0,050	0,100	0,150	0,400	0,500	0,600	0,040	0,050	0,060
Kriterler	Yatırım			Takım/Fikstür			Takım Aşınması			Güç Tüketimi			İşçilik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000
AWJM	3,000	4,000	5,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	1,000	3,000	4,000	2,000	3,000	4,000
USM	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	5,000	6,000	7,000	3,000	4,000	5,000	5,000	6,000	7,000
RUSM	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
CHM	5,000	6,000	7,000	2,000	3,000	4,000	1,000	2,000	3,000	6,000	7,000	8,000	2,000	3,000	4,000
EBM	8,000	9,000	10,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	4,000	7,000	8,000	9,000
LBM	7,000	8,000	9,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	1,000	2,000	3,000	7,000	8,000	9,000
Kriterler	Delik Çapı			Kesme Kalınlığı			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı			Seramik		
Proses	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL	AL	OR	UL
AJM	0,140	0,150	0,160	0,090	0,100	0,150	8,000	10,000	12,000	20,000	50,000	200,000	8,000	9,000	10,000
AWJM	0,140	0,150	0,160	0,140	0,150	0,160	25,000	30,000	35,000	300,000	600,000	2000,000	8,000	9,000	10,000
USM	0,040	0,050	0,060	0,040	0,050	0,060	2,000	2,500	3,000	300,000	600,000	2100,000	8,000	9,000	10,000
RUSM	0,040	0,050	0,060	0,040	0,050	0,060	160,000	180,000	200,000	400,000	800,000	2400,000	8,000	9,000	10,000
CHM	0,090	0,100	0,110	0,090	0,100	0,110	2,000	3,000	3,500	15,000	40,000	140,000	2,000	3,000	4,000
EBM	0,035	0,040	0,100	0,035	0,040	0,100	12,000	15,000	18,000	0,300	2,000	6,000	8,000	9,000	10,000
LBM	0,040	0,050	0,060	0,090	0,100	0,110	17,000	20,000	23,000	0,100	2,000	5,000	8,000	9,000	10,000

EK-32. Vaka 5 BNP, normalize matris ve ağırlıklı normalize matris

BNP	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik
AJM	0,067	0,700	0,025	0,200	0,005	2,000	3,000	6,000	2,000	4,000	0,150	0,113	10,000	90,000	9,000
AWJM	0,042	0,300	0,025	0,500	0,003	4,000	3,000	6,000	2,667	3,000	0,150	0,150	30,000	966,667	9,000
USM	0,016	0,500	0,025	0,080	0,004	3,000	6,000	6,000	4,000	6,000	0,050	0,050	2,500	1000,000	9,000
RUSM	0,014	0,500	0,027	0,080	0,004	4,000	7,000	7,000	3,000	6,000	0,050	0,050	180,000	1200,000	9,000
CHM	0,040	1,667	0,005	1,250	0,300	6,000	3,000	2,000	7,000	3,000	0,100	0,100	2,833	65,000	3,000
EBM	0,020	2,667	0,027	0,250	0,020	9,000	2,000	2,000	3,000	8,000	0,058	0,058	15,000	2,767	9,000
LBM	0,020	0,967	0,100	0,500	0,050	8,000	2,000	2,000	2,000	8,000	0,050	0,100	20,000	2,367	9,000
Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik
AJM	0,210	0,429	0,200	0,400	0,667	1,000	0,667	0,333	1,000	0,750	0,333	0,441	0,056	0,075	1,000
AWJM	0,333	1,000	0,200	0,160	1,000	0,500	0,667	0,333	0,750	1,000	0,333	0,333	0,167	0,806	1,000
USM	0,875	0,600	0,200	1,000	0,833	0,667	0,333	0,333	0,500	0,500	1,000	1,000	0,014	0,833	1,000
RUSM	1,000	0,600	0,188	1,000	0,833	0,500	0,286	0,286	0,667	0,500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
CHM	0,350	0,180	1,000	0,064	0,011	0,333	0,667	1,000	0,286	1,000	0,500	0,500	0,016	0,054	0,333
EBM	0,700	0,113	0,188	0,320	0,167	0,222	1,000	1,000	0,667	0,375	0,857	0,857	0,083	0,002	1,000
LBM	0,700	0,310	0,050	0,160	0,067	0,250	1,000	1,000	1,000	0,375	1,000	0,500	0,111	0,002	1,000
Ağırlıklı Normalize Karar Tablosu	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik
AJM	0,013	0,024	0,009	0,006	0,019	0,104	0,055	0,022	0,053	0,009	0,008	0,010	0,001	0,018	0,179
AWJM	0,020	0,055	0,009	0,003	0,028	0,052	0,055	0,022	0,040	0,012	0,008	0,008	0,002	0,194	0,179
USM	0,053	0,033	0,009	0,016	0,023	0,070	0,027	0,022	0,026	0,006	0,025	0,023	0,000	0,200	0,179
RUSM	0,061	0,033	0,008	0,016	0,023	0,052	0,023	0,019	0,035	0,006	0,025	0,023	0,011	0,240	0,179
CHM	0,021	0,010	0,043	0,001	0,000	0,035	0,055	0,066	0,015	0,012	0,013	0,012	0,000	0,013	0,060
EBM	0,042	0,006	0,008	0,005	0,005	0,023	0,082	0,066	0,035	0,005	0,022	0,020	0,001	0,001	0,179
LBM	0,042	0,017	0,002	0,003	0,002	0,026	0,082	0,066	0,053	0,005	0,025	0,012	0,001	0,000	0,179

EK-33. BNP'ye göre pozitif ve negatif ideal çözümünden uzaklıklar

Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
AWJM	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002
USM	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003	0,002
RUSM	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002
CHM	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,005	0,001	0,000
EBM	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,007	0,000	0,000
LBM	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000
Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik	
AJM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,000	
AWJM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	
USM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	
RUSM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
CHM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,052	0,014	
EBM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,000	
LBM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,000	
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlama	Köşe Yarıçap	Taper	Yatırım	Takım/ Fikstür	Takım Aşınması
AJM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000
AWJM	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000
USM	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000
RUSM	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
CHM	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
EBM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002
LBM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002
Negatif İdeal Çözümünden Uzaklık	Güç Tüketimi	İşçilik	Delik Çapı	Kesme Kalınlığı	L/D - t/w oranı	İşleme Hızı	Seramik	
AJM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	
AWJM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,037	0,014	
USM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,014	
RUSM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,014	
CHM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
EBM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	
LBM	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KUL, Yavuz
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.04.1976, Trabzon
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 584 41 27
 Faks : 0 (312) 584 41 61
 e-mail : yavuzkul@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	ODTÜ/ Makine Müh. Bölümü	01.1999
Lise	Eynesil Lisesi/Giresun	07.1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
12.2008-....	TUBITAK	Bilimsel Programlar Uzman
01.2002-11.2008	Ford Otosan A.Ş.	Proje Ekip Lideri
12.2000-12.2001	Vestel A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
02.1999-07.2000	Arçelik A.Ş.	Metot Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce