

Ahşılmanmış İmalat Yöntemi Seçmek İçin Bir Karar Destek Sistemi Önerisi

Leman KARGIN¹, Yusuf Tansel İÇ^{1*}

¹ Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06790, Ankara

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 07/12/2023
Düzeltilme: 29/12/2023
Kabul: 04/01/2024

Anahtar Kelimeler

Ahşılmanmış imalat yöntemleri
Karar destek sistemleri
Çok ölçütlü karar verme
İmalat

Article Info

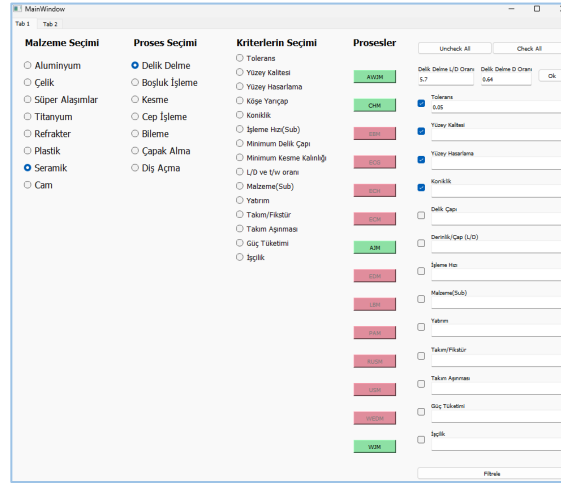
Research article
Received: 07/12/2023
Revision: 29/12/2023
Accepted: 04/01/2024

Keywords

Nontraditional manufacturing processes
Decision support systems
Multi-criteria decision making
Manufacturing

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada AHP-TOPSIS yöntemleri bütünleşik olarak kullanılarak ahşılmanmış imalat yöntemlerinin (AİY) seçimine yönelik bir Karar Destek Sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Literatürde mevcut olan bilgiler KDS içerisinde bütünleştirilmiş ve kullanıcı yönlendirilerek AHP-TOPSIS yöntemlerini uygulayıp sonuçta yapılacak işleme uygun AİY'lerin en uygun olandan uygun olmayana sıralanması gerçekleştirilebilmiştir. / In this study, a Decision Support System (DSS) was developed for the selection of nontraditional manufacturing processes (NTMPs) by using AHP-TOPSIS methods in an integrated manner. Information that is available in the literature was combined within the DSS, applying the AHP-TOPSIS methods with the guidance of the decision-maker. It is possible to rank the AHPs suitable for the operation from the most suitable one to the most inappropriate.



Şekil A: KDS uygulaması / Figure A: KDS application

Önemli noktalar (Highlights)

- The AHP-TOPSIS bütünleşik yöntemi kullanılmıştır. / AHP-TOPSIS integrated method is used.
- Esnek yapılı bir KDS geliştirilmiştir. / A flexible structured DSS has been improved.
- AİY yöntemleri sıralanmıştır. / NTM processes have been ranked.

Amaç (Aim): Geliştirilen KDS ile yapılacak işe en uygun AİY'nin karar vericiye önerilmesi hedeflenmiştir. / The developed DSS aims to recommend the most suitable NTMP for the operation to the decision-maker.

Originality (Özgünlük): AİY eçimindeki tüm aşamaları bir KDS yapısında toplayan bir model literatürde kazandırılmıştır. Ayrıca gerçek hayat uygulamaları için kullanışlı bir KDS geliştirilmiştir. / A model that collects all stages of NTMP in a DSS structure has been introduced to the literature. Additionally, a useful DSS has been developed for real-life applications.

Bulgular (Results): Geliştirilen KDS literatürde yapılmış olan çalışmalar üzereinde denenmiş ve gerçekleştirilen 4 örnek çalışmada da benzer sıralama sonuçları çok hızlı bir şekilde KDS'den alınabilmiştir. / The developed DSS was tested in the studies conducted in the literature, and similar ranking results could be obtained very quickly from the DSS in 4 sample studies.

Sonuç (Conclusion): Bu makalede özellikle Pratik hayatta yapılacak AİY seçim çalışmalarında kullanışlı olabilecek bir KDS geliştirilmiştir. KDS'nin yapısı hem teknik gereksinimlere uygun olarak bir ön değerlendirme yapmayı, hem de ön değerlendirme sonucu belirlenen alternatifleri kendi aralarında sıralamayı gerçekleştirebilen bir yapıya sahiptir. / In this article, a DSS has been developed that can be useful, especially in NTMP selection studies in practical life. The structure of DSS is such that it can perform both a preliminary evaluation by technical requirements and a ranking of the alternatives determined as a result of the preliminary analysis.



Alışılmamış İmalat Yöntemi Seçmek İçin Bir Karar Destek Sistemi Önerisi

Leman KARGIN¹ , Yusuf Tansel İÇ^{1*} 

¹ Baskent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06790, Ankara

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 07/12/2023
Düzeltilme: 29/12/2023
Kabul: 04/01/2024

Anahtar Kelimeler

Alışılmamış imalat yöntemleri
Karar destek sistemleri
Çok ölçütlü karar verme
İmalat

Öz

Günümüz teknolojileri dikkate alındığında, dar toleranslarda çalışma gerektiren küçük ve kırılğan parçalarda, karmaşık geometrilerin işleme zorluğunda kullanıma uygun ve yeni üretim teknolojileri olarak adlandırabileceğimiz Alışılmamış İmalat Yöntemleri (AİY) imalat alanında önemli bir yer almıştır. Bu çalışmada geliştirilen Karar Destek Sistemi (KDS) ile literatürdeki bilgi birikiminden yararlanarak, endüstriyel anlamda gerçek hayattaki kullanım alanlarında uygulanabilir nitelikte olan, hızlı ve dinamik karar verme, gerekirse hangi imalat sistemine yatırım yapma konusunda karar vericilere yardımcı olacak, veri iletişiminin olduğu, parametrik yapısı ile kriterlerin ve alternatiflerin değiştirilebileceği bir sistemin ortaya konulması planlanmıştır. Söz konusu KDS, kullanıcının arzu ettiği proses tipine göre ilgili verilerin girilmesi ile uygun filtrelemelerin yapılması sonrasında alternatif AİY'lerin sıralanması için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini uygulayarak kullanıcının karar vermesine yardımcı olmaktadır. KDS Python yazılım dili kullanılarak yazılmıştır.

A Decision Support System Proposal for the Selection of a Nontraditional Manufacturing Process

Article Info

Research article
Received: 07/12/2023
Revision: 29/12/2023
Accepted: 04/01/2024

Keywords

Nontraditional manufacturing process
Decision support systems
Multi-criteria decision making
Manufacturing

Abstract

Considering today's technologies, Nontraditional Manufacturing Processes (NTMPs), which we can call new production technologies, have taken an important place in the field of manufacturing, they emerged due to reasons such as small and fragile parts that require working in minimal processing conditions and difficulties in processing complex geometries. The Decision Support System (DSS) developed in this study, by taking advantage of the knowledge in the literature, has a parametric structure with data communication, which is applicable in real-life industrial use areas, will help decision-makers in fast and dynamic decision-making, and which manufacturing system to invest in if necessary. It is planned to introduce a system where criteria and alternatives can be changed. The DSS in question helps the user decide by applying Multi-Criteria Decision-Making Methods to rank alternative NTMPs by entering the relevant data according to the user's desired process type and making appropriate filters. KDS is written using the Python programming language.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Uzun yıllardır kullanılmasından dolayı ortaya çıkan geleneksel imalat yöntemlerinin yoğun bir bilgi birikimine nazaran, Alışılmamış İmalat Yöntemleri (AİY) kapsamındaki bilgi yoğunluğu ve tecrübe daha azdır. Bu sebeple AİY seçiminde karar vermeyi zorlaştırıcı unsurlar olarak; bilgi birikimi ve tecrübe eksikliği, AİY'lerdeki hızlı gelişmeler ve değişimler gibi sebepler göz önüne alındığında AİY seçiminin zor bir karar süreci olduğu söylenebilir [1,2].

AİY terimi, çeşitli termal, kimyasal, elektrik ve mekanik malzeme kaldırma işlemlerini ifade eder.

AİY'ler; malzeme teknolojisinin gelişmesinden, yeni ürün performansı ve dayanıklılık standartlarına olan talep, karmaşık tasarlanmış ürünlerin şekilleri, takım aşınması ve ekonomik getirinin dikkate alınmasını önceleyerek, artan hassasiyete yönelik eğilimi karşılamak ve iyileştirilmiş yüzey koşulları sağlamak için ortaya çıkmıştır.

AİY'ler son zamanlarda geliştirilen metalleri ve ametalleri işleme ihtiyacıyla geliştirilmiştir. Bu yeni malzemeler genellikle, geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor veya imkansız hale gelebilen özel durumlara (yüksek mukavemet, yüksek sertlik ve yüksek tokluk) sahiptir. Kolayca gerçekleştirilemeyen ve bazı durumlarda geleneksel

işlemeyle elde edilmesi imkansız ve / veya karmaşık parça geometrilerine duyulan ihtiyaçta AİY'ler için diğer gereksinimi ifade eder. Bu gereksinimlerin çoğu, son yıllarda önemli ölçüde büyüyen havacılık ve elektronik endüstrileri ile ilişkilidir. AİY'ler Mekanik İşleme, Kimyasal ve Elektrokimyasal İşleme, Termoelektrik İşleme şeklinde üç ana sınıfa ayrılır [3]. AİY'ler malzeme işlemek üzere çeşitli enerji kaynaklarını kullanırlar. Bu bakımdan malzemeyi işlemek için kullanılan enerji kaynağı, takım ve enerji aktarım ortamı ve malzeme kaldırma mekanizması doğrultusunda Tablo 1'deki gibi bir sınıflandırmaya tabi tutulurlar [4, 5].

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde KDS uygulamasında kullanılan yöntemler ve KDS'nin geliştirilme aşamalarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde KDS ile yapılan uygulama çalışmalarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE SURVEY)

Literatürde AİY'lerin seçimine yönelik bazı çalışmalara aşağıda değinilmektedir. Coğun [7], uygun olmayan AİY'leri değerlendirme dışı bırakmak ve geri kalan uygun olanları sıralamak için etkileşimli olarak oluşturulmuş 16 basamaklı bir sınıflandırma kodu kullanmıştır. Coğun'un [7] çalışması sltrnatif AİY'ler arasında seçim yapan ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır. Yurdakul ve Cogun [8], Analitik Hiyerarşi Prosesini (AHP) ve İdeal Çözümlere Yakınlığın Değerlendirilmesiyle Tercihlerin Sıralanması Tekniğini (Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution-TOPSIS) birleştirerek belirli bir uygulama gereksinimi için bir AİY seçim yöntemi önermiştir. Bu yöntem, AİY seçimi ile ilgili Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metodlarının kullanıldığı ilk çalışmadır. Çalışmada on iki AİY on iki kriter kullanılarak AHP ve TOPSIS yöntemleri ile sıralanmıştır.

Tablo 1. Alışılmamış imalat yöntemlerinin enerji kaynağına göre sınıflandırılması (Classification of nontraditional manufacturing processes according to energy source)

Enerji Türü	Yöntem	İngilizcesi	Türkçesi	Enerji Kaynağı	Araç	Transfer Aracı	Malzeme Kaldırma Mekanizması
Mekanik	USM	Ultrasonic Machining	Ultrasonik İşleme	Ultrasonik Titreşim	Sonotrot	Aşındırıcı	Erozyon veya aşınma
Mekanik	AJM	Abrasive Jet Machining	Aşındırıcı Jet İşleme	Pnömatik Basınç	Aşındırıcı Jet	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	WJM	Water Jet Machining	Su Jeti İle İşleme	Hidrolik Basınç	Su Jeti	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	AWJM	Abrasive Water Jet Machining	Aşındırıcı Su Jeti İle İşleme	Hidrolik Basınç	Aşındırıcı Jet	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	IJM	Ice Jet Machining	Buz Jeti İle İşleme	Hidrolik Basınç	Buz Jeti	Hava	Erozyon veya aşınma
Mekanik	AFM	Abrasive Flow Machining	Aşındırıcı Akış İşleme	Hidrolik Basınç	Aşındırıcılar	Macun	Erozyon veya aşınma
Kimyasal	CHM	Electrochemical Machining	Elektrokimyasal İşleme	Yüksek akım	Elektrot	Elektrolit	İyon yer değiştirme yoluyla anot çözünmesi
Elektrokimyasal	ECM	Electrochemical Machining	Kimyasal İşleme	Aşındırıcı ajan	Maske	Dağlayıcı	Kimyasal çözünme
Termal	EDM	Electric Discharge Machining	Elektrik Deşarj İşleme	Yüksek voltaj	Elektrot	Yalıtkan	Erime ve buharlaşma
Termal	EBM	Electron Beam Machining	Elektron Işını İşleme	İyonize malzeme	Elektron demeti	Vakum	
Termal	IBM	Ion Beam Machining	İyon Işını İşleme	İyonize malzeme		İyon ışını	
Termal	LBM	Laser Beam Machining	Lazer Işını İşleme	Güçlendirilmiş ışık	Lazer ışını	Hava	
Termal	PAM	Plasma Arc Machining	Plazma Ark İşleme	İyonize malzeme	Plazma Jeti	Plazma	

Diğer taraftan, Chakraborty ve Dey [9], en uygun (QFD) ile bir uzman sistem geliştirmiştir. AİY'nin belirlenmesi için kalite fonksiyon yayılımı Çalışmalarında, ürün ve işleme karakteristiklerine

göre kalite evi matrisi oluşturulmuştur. Das Chakladar ve Chakraborty [10], belirli bir iş malzemesi ve şekil özelliği kombinasyonu için en uygun AİY'nin seçilmesi amacıyla TOPSIS ve AHP yöntemlerini birleştirerek Visual Basic ile bir uzman sistem geliştirmişlerdir. Chandrasselan ve ark. [11], en uygun AİY seçimi için endüstriyel öneme sahip yirmi AİY kullanarak, gerçek zamanlı ve web tabanlı olmak üzere üç katmanlı bir bilgi sistemi geliştirmişlerdir. Das Chakladar ve ark. [12], AİY seçimi problemlerini kullanıcı arayüzü yardımıyla çözmek için bir yaklaşım sunmuşlardır. "Diagraph" teoriyi kullanarak AİY seçimi için bir uzman sistem önermişlerdir. Sugumaran ve ark. [13], belirlenen bir iş malzemesi üzerinde uygulanacak bir imalat işlemi için en uygun AİY'nin seçimi için mühendislere yardımcı olmak adına yapay sinir ağı tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Das ve Chakraborty [14], AİY seçim kararını etkileyen çeşitli kriterler arasındaki karşılıklı bağımlılık ve geri bildirim ilişkilerini dikkate alarak belirli bir işleme uygulanması için en uygun AİY'yi seçmek üzere analitik ağ süreci (ANP) tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Sadhu ve Chakraborty [15], AİY seçim problemlerini çözmek için veri zarflama analizi (DEA) yöntemini kullanmışlardır. Çalışmanın ilk aşamasında belirli parametreler altında Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) veri zarflama analizi modeli ile en uygun AİY'leri belirlenmişlerdir. İkinci aşamasında AİY'ler ÇKKV ile sıralama yapılmıştır. Karande ve Chakraborty [16], dört adet AİY seçim problemini çözmek için PROMETHEE ve GAIA yöntemi ile entegre bir yaklaşım kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Kul [17], çalışmada AİY seçim probleminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin uygulandığı bir yaklaşım ortaya koymuştur. Temuçin ve ark. [18], AİY seçim problemleri için gerekli verilerin bir kısmını uzmanlara uygulanan anketler aracılığıyla toplayarak, TOPSIS ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanan bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Choudhury ve ark. [19], AİY seçim problemlerinin çözümü için AHP ve TOPSIS kullanan entegre bir yaklaşımı kullanmışlardır. Chatterjee ve Chakraborty [20], üç açıklayıcı örnek yardımıyla AİY seçim problemlerini çözmek için EVAMIX yöntemini uygulamışlardır. Roy ve ark. [21] AİY seçiminde ilk aşamada bulanık AHP yöntemini uyguladıktan sonra en iyi olan AİY'yi seçmek için AİY'lerin performans puanlarını değerlendirmek üzere QFD yöntemini uygulamışlardır. Azaryoon ve ark. [22], AİY'lerdeki çeşitli performans ölçümlerini değerlendirmek için DEMATEL, ANP ve VIKOR yöntemlerini içeren hibrit bir bilgi tabanlı sistem geliştirmişlerdir. Madić ve ark. [23] çeşitli kalite kriterlerinin göreceli önemini belirlenmesi ve

belirli bir imalat prosesi için en uygun AİY'nin seçilmesi için AHP, MOORA ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Yine Madić ve ark. [24], çok sayıda aday alternatif arasından en iyi AİY'yi seçmek için bir ÇKKV yöntemi olan OCRA yöntemini uygulamışlardır. Roy ve ark. [21], bir AİY'deki farklı teknik gereksinimlerin göreceli önemini araştırmak için bulanık AHP ve QFD yöntemlerinin kullanıldığı bir uygulama önermişlerdir. Chatterjee ve ark. [25], AİY seçimi ve değerlendirilmesinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi için öncelikle FARE yöntemi uygulanmış ve alternatif AİY'ler daha sonra MABAC yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. Prasad ve Chakraborty [26], uzman sistemler ve bulanık mantık teknikleri kullanan bir AİY seçim metodolojisi oluşturmuşlardır. Uzman olmayan kullanıcının, parça gereksinimlerini temel olarak en uygun işleme yöntemini seçebileceği bir süreç sunulmaya çalışılmıştır. Talib ve Asjad [27], 27 değerlendirme kriterine göre çeşitli AİY'nin önceliklendirilmesi ve sıralanması için AHP yöntemini kullanan bir model geliştirmişlerdir. Yurdakul ve İç [28], belirli bir iş malzemesi ve şekil özelliği kombinasyonları için AİY seçimine yönelik AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bulanık tabanlı modellerinin uygulamalarını sunmuşlardır. Yurdakul ve ark [29], sezgisel ve üçgensel bulanık AİY sıralama modelini geliştirerek elde edilen sıralama sonuçlarını bulanık olmayan sıralama modellerinin sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Chakraborty ve ark. [30, 31] akıllı bir karar modeli tasarlanmış ve ilgili mühendisin belirli bir parametrik kombinasyon için çeşitli AİY'ler hakkında fikir sahibi olmasına rehberlik etmek üzere önerilen model VBASIC'te geliştirilmiştir. Kumari ve Acherjee [32] AİY seçiminde CRITIC-CODAS bütünleşik yöntemini önermiştir. Roy ve ark [33] Analitik Ağ Süreci (ANP) ve QFD yöntemlerini bütünleşik olarak uygulayarak AİY seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Jagtap ve Karande [34] m-polar bulanık set ELECTRE-I ve AHP yöntemlerini bütünleşik olarak kullanarak AİY seçimine yönelik bir model önermişlerdir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; belirli bir alternatif AİY seçenек kümesi içerisinde belirli kriterler doğrultusunda bir sıralama yapılmasının hedeflendiği veya sadece proses için uygun olabilecek parametreler değerlendirilerek bir eleme yapılmak suretiyle en uygun AİY'nin tespit edilmesinin amaçlandığı çalışmalara odaklanıldığı görülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda belirli bir işe uygun olarak uygun AİY'leri bir ön eleme ile belirledikten sonra, birçok ölçütlü karar verme yöntemiyle sıralayan yapıda sunulmuş çalışmaya rastlanamamaktadır. Bu çalışmada bu açığı

kapatmaya yönelik olarak, literatürde en fazla bütünlük olarak kullanımı tercih edilen ve bilgisayar programlama süreci kolaylıkla gerçekleştirilebilen AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak, payton programı ile bir karar destek sistemi geliştirilmiş ve literatürdeki tüm aşamaları bir sistem içerisinde değerlendirebilen bir karar destek sistemi yapısı kurulmuştur.

3. ALIŞILMAMIŞ İMALAT YÖNTEMLERİ SEÇİMİ İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ (A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR NONTRADITIONAL MANUFACTURING PROCESS SELECTION)

3.1. Analitik Hiyerarşik Prosesi (Analytic Hierarchy Process)

Analitik Hiyerarşik Prosesi (AHP) 1981 yılında L. Thomas Saaty tarafından ortaya konan bir çok kriterli karar verme yöntemidir [35]. AHP'de öncelikle problem belirlenir ve probleme ait kriterler alt kriterler ve alternatifler ortaya konur. Bu şekilde bir hiyerarşi oluşturulur. Hiyerarşi oluşturulduktan sonra ikili karşılaştırma matrisi elde edilir ve bu verilerden her kriterin önem derecesi belirlenir. Yöntemin uygulama adımları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Amaç, kriterler, karar alternatifleri belirlenir ve hiyerarşik yapı oluşturulur.
- İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur (Eş.1).

$$K = \begin{array}{c|ccc} & K_1 & K_2 & K_n \\ \hline K_1 & w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ K_2 & w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_n & w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{array} \quad (1)$$

Matriste K_i , $i=1, \dots, n$ değerine kadar değer almak üzere kriter sayısını, w_i ise kriterin ağırlık değerini ifade eder. Ağırlık değerleri belirlenirken Tablo 2'den yararlanır.

- Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi bulunur (Eş.2). Bu amaçla önce her bir sütun elemanının toplanması ile sütun toplamları elde edilir.

$$K = \begin{array}{c|ccc} & K_1 & K_2 & K_n \\ \hline K_1 & w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ K_2 & w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_n & w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \\ \hline Sütun Toplamı & \sum_{i=1}^n w_i & \sum_{i=1}^n w_i & \dots & \sum_{i=1}^n w_i \end{array} \quad (2)$$

Tablo 2. Saaty'nin İkili karşılaştırmada ölçeği (Saaty's pair-wise comparison scale) [35]

Önem Dereceleri	Derece Tanımları
1	Eşit önem
3	Orta önem
5	Güçlü önem
7	Çok güçlü önem
9	En üst düzey önem
2,4,6,8	Ara Değerler

Ardından her bir satır elemanı ait olduğu sütun toplamına bölünerek normalize matris elde edilir (Eş.3).

Daha sonra, normalize matrisin satır elemanları toplanıp kriter sayısına bölünerek kriter öncelik (ağırlık) değerleri bulunmuş olur (Eş.4 ve 5).

Geliştirilen KDS kapsamında kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanarak TOPSIS yöntemine aktarılmıştır.

$$L = \begin{array}{c|ccc} & L_1 & L_2 & L_n \\ \hline L_1 & \frac{(w_1/w_1)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_1} & \frac{(w_1/w_2)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_2} & \dots & \frac{(w_1/w_n)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_n} \\ L_2 & \frac{(w_2/w_1)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_1} & \frac{(w_2/w_2)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_2} & \dots & \frac{(w_2/w_n)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_n & \frac{(w_n/w_1)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_1} & \frac{(w_n/w_2)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_2} & \dots & \frac{(w_n/w_n)/\sum_{i=1}^n w_i}{w_n} \\ \hline Toplam & 1 & 1 & \dots & 1 \end{array} \quad (3)$$

Eş.(3), Eş. (4) şeklinde düzenlenebilir. Ardından Eş (5) kullanılarak öncelik vektörü (W) belirlenir.

$$L = \begin{array}{c|ccc} & L_1 & L_2 & L_n \\ \hline L_1 & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ L_2 & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_n & y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nn} \\ \hline Toplam & 1 & 1 & \dots & 1 \end{array} \quad (4)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 = \frac{\sum_{j=1}^n y_{1j}}{n} \\ w_2 = \frac{\sum_{j=1}^n y_{2j}}{n} \\ \dots \\ w_n = \frac{\sum_{j=1}^n y_{nj}}{n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

AHP yönteminde, CR (Tutarlılık Oran/Consistency Ratio) ile ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı kontrol edilir. K matrisiyle W öncelik vektörü arasında aşağıdaki gibi matematiksel bir ilişki yazılır [35]:

$$K \cdot W = \lambda \cdot W \quad (6)$$

$$K \cdot W \cdot W^{-1} = \lambda \cdot W \cdot W^{-1} \quad (7)$$

$$(K \cdot W)/W = \lambda \cdot I \quad (8)$$

$$(K \cdot W)/W = \lambda \quad (9)$$

Burada λ öz vektörü göstermektedir. Tutarlılık indeksi (CI) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (10)$$

CI ve rassal indeks (RI) olarak tanımlanan ve Tablo 3'de gösterilen veriler ile CR hesaplanır:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

Burada CR'nin 0,10'dan küçük hesaplanması ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterir.

Tablo 3. RI değerleri (RI values) [36]

Kriter Sayısı (n)	RI
1	0
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56

3.2. Tercihlerin İdeal Çözüme Benzerlikleri Yoluyla Sıralanması Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS))

KDS, kullanıcının belirlediği proses tipine ve seçtiği kriterlere göre AHP metodu ile kriter ağırlıklarını belirler. Ardından alternatif AİY'lerin

TOPSIS metoduna uygun olarak sıralaması gerçekleştirilir. Yöntem Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir [36]. TOPSIS yöntemi farklı seçim çalışmalarında uygulanmıştır [37-45]. TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Karar matrisinin normalize edilmesi

Öncelikle bir karar matrisi, satırlarında alternatifler ($i=1, \dots, m$), sütunlarda kriterler ($j=1, \dots, n$) olacak şekilde elde edilir. Eş.(12) kullanılarak normalize matris (R) elde edilir (Eş.13).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m \text{ ve } j=1, \dots, n. \quad (12)$$

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} & K & x_{1n} \\ M & O & M \\ x_{m1} & L & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Adım 2: Ağırlıklı normalize matris

AHP ile hesaplanmış olan kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklı normalize matris oluşturulur (Eş. 14 ve Eş. 15).

$$V = [v_{ij}]_{m \times n} \quad (14)$$

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (15)$$

Adım 3: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin elde edilmesi

Eş.(16) ve Eş. (17) kullanılarak ideal çözümler belirlenebilir.

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ (\max_j v_{ij} | i \in I^I), (\min_j v_{ij} | i \in I^{II}) \right\} \quad (16)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ (\min_j v_{ij} | i \in I^I), (\max_j v_{ij} | i \in I^{II}) \right\} \quad (17)$$

Adım 4: Pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıkların bulunması

Eş.(18) ve Eş.(19) ile ideal çözüme uzaklıklar hesaplanır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^+)^2} \quad (18)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{ij}^-)^2} \quad (19)$$

Adım 5: Sıralama puanlarının hesaplanması

Eş.(20) kullanılarak bulunan sıralama puanlarına göre alternatifler sıralanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad C_i \in [0,1] \quad i = 1, \dots, m \quad (20)$$

4. KARAR DESTEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI (DEVELOPMENT OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM AND ITS APPLICATION)

AİY seçimi için geliştirilen KDS iki safhada geliştirilmiştir. İlk aşamada en iyi AİY'nin seçimi için karar vericinin arzu ettiği proses tipine uygun AİY'ler ve ilgili kriterler belirlenmiştir. Ardından kriter ağırlıklandırması için AHP ve alternatif AİY'lerin sıralanması için TOPSIS uygulanmıştır. Uygulamada en yaygın kullanıma sahip olduğu değerlendirilen 14 AİY ve alternatif AİY'lerin performansları için değerlendirme kriterleri Tablo 4'de verilmiştir.

KDS'nin giriş ekranı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu ekranda karar verici malzeme, proses ve seçimde kullanacağı kriterleri belirleyerek "filtrele" butonuna basarak sonraki aşamaya ilerleyebilir. Bu aşamaların işleyişi ile ilgili detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

Tablo 4. KDS'de kullanılan AİY yöntemleri ve kriterler (NTM processes and criteria used in DSS)

Ahşılmamış İmalat Yöntemleri	Kriterler
USM-Ultrasonic Machining -Ultrasonik İşleme	<input type="checkbox"/> <u>Kalite</u>
AJM-Abrasive Jet Machining-Aşındırıcı Jet İşleme	<input type="checkbox"/> Yüzey Hasarlama
WJM-Water Jet Machining-Su Jeti İle İşleme	<input type="checkbox"/> Yüzey Kalitesi
AWJM-Abrasive Water Jet Machining-Aşındırıcı Su Jeti İle İşleme	<input type="checkbox"/> Koniklik
IJM İce Jet Machining Buz Jeti İle İşleme	<input type="checkbox"/> Köşe yarıçap
AFM Abrasive Flow Machining Aşındırıcı Akış İşleme	<input type="checkbox"/> Tolerans
CHM Electrochemical Machining Elektrokimyasal İşleme	<input type="checkbox"/> <u>İşleme Hızı</u>
ECM Chemical Machining Kimyasal İşleme	<input type="checkbox"/> İşleme Hızı
EDM Electric Discharge Machining Elektrik Deşarjı İşleme	<input type="checkbox"/> <u>Delme/Kesme Sınırları</u>
EBM Electron Beam Machining Elektron Işını İşleme	<input type="checkbox"/> Minimum Çapı
IBM Ion Beam Machining İyon Işını İşleme	<input type="checkbox"/> Minimum Kalınlık
LBM Laser Beam Machining Lazer Işını İşleme	<input type="checkbox"/> L/D ve t/w
PAM Plasma Arc Machining Plazma Ark İşleme	<input type="checkbox"/> <u>Malzeme</u>
	<input type="checkbox"/> Minimum Delik Çapı
	<input type="checkbox"/> <u>Maliyet</u>
	<input type="checkbox"/> Yatırım
	<input type="checkbox"/> Takım/Fikstür
	<input type="checkbox"/> Takım Aşınması
	<input type="checkbox"/> Güç Tüketimi
	<input type="checkbox"/> İşçilik

AİY'lerden uygun olmayanlar kırmızı olarak ekranda gösterilir.

4.2. Proses Seçimi (Process Selection)

Kullanıcı, malzeme üzerinde yapılması istediği prosesin tipini KDS'de Şekil 3'deki ekran üzerinden seçer. Uygulama, girilen bilgiler doğrultusunda Tablo 6' daki şekilsel yeterliliklere göre uygun AİY'leri belirler. Delik Delme seçilirse, L/D oranı, Boşluk İşleme; Kesme veya Cep İşleme seçilirse t/w oranının kullanıcı tarafından girilmesi istenir.

Malzeme Seçimi

Alüminyum

Çelik

Süper Alaşımlar

Titanyum

Refrakter

Plastik

Seramik

Cam

Şekil 2. KDS'de malzeme seçim ekranı (Material selection screen of the DSS)

Proses Seçimi

Delik Delme

Boşluk İşleme

Kesme

Cep İşleme

Bileme

Çapak Alma

Diş Açma

Şekil 3. Proses seçimi (Process selection)

4.3. Uygun Kriterlerin Belirlenmesi (Determination of the Appropriate Criteria)

Kullanıcının önceki aşamada girmiş olduğu bilgilere göre uygun olan kriterlerin kullanıcıya sunulması için uygulama Tablo 7' yi kullanır [8]. Sonrasında kullanıcıya Şekil 4'de gösterilen kriter içerisinden seçim yapması sağlanır.

4.4. Ön Eleme (Pre-Election)

Önceki adımda belirlenmiş olan kriterler ve kullanıcının proses için belirlediği değerlere göre uygun olmayan AİY'lerin elenme işlemi için Tablo 8 kullanılır. Tablo 8'de sırasıyla takımlama, güç

gereksinimi ve yatırım konularında AİY'lerin uzman görüşleriyle değerlendirilmesi, ardından proses kabiliyetlerine göre kriterler bazında spesifikasyonları ifade edilmektedir. Girilmiş bilgilere göre ekrandaki ara yüz için Şekil 5 örnek verilebilir. Ardından Uygun olan AİY'ler ve kriterler kullanıcı ekranına yansıtılır.

Tablo 6. Alışılmamış imalat yöntemleri ile yapılan işlemler [28] (Processes that carried out with nontraditional manufacturing processes)

PROSES	Delik Delme Operasyonları						Boşluk İşleme	
	L/D<20			L/D>20			t/w <1 0	t/w >1 0
	D<0,05	0,20>D>0,05	D>0,2	D<0,05	0,20>D>0,05	D>0,2		
EDM	0	1	1	0	1	1	1	
USM	1	1	1	0	1	1	0	
ECM	0	0	1	0	0	1	1	
AJM	0	1	1	0	0	0	1	
RUSM	1	1	1	1	1	1	1	
WJM	0	1	1	0	0	1	1	
ECG	0	0	0	0	0	0	0	
WAJM	0	1	1	0	0	1	1	
ECH	0	0	0	0	0	0	0	
CHM	0	1	1	0	0	0	1	

Kriterlerin Seçimi

Tolerans

Yüzey Kalitesi

Yüzey Hasarlıama

Köşe Yarıçap

Koniklik

İşleme Hızı(Sub)

Minimum Delik Çapı

Minimum Kesme Kalınlığı

L/D ve t/w oranı

Malzeme(Sub)

Yatırım

Takım/Fikstür

Takım Aşınması

Güç Tüketimi

İşçilik

Şekil 4. Kriter belirleme ekranı (Criteria determination screen)

Tablo 7. Kriterler için uygunluk tablosu (Compliance table for criteria)

Kriter	Şekillendirme											
	Silindirik delik işleme						Boşluk işleme	Kesme	Cep İşleme	Taşlama	Çapak alma	Diş açma
	$L/D < 20$			$L/D > 20$								
	$D < 0.05$	$0.20 > D > 0.05$	$D > 0.20$	$D < 0.05$	$0.20 > D > 0.05$	$D > 0.20$						
Tolerans	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yüzey bitirme	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yüzey hasarlıama	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Köşe Yarıçap	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
Koniklik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Delik çapı	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Derinlik/Çap (L/D)	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Derinlik/genişlik (t/w)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Kesme kalınlığı	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
İşleme hızı	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 8. Proses yeterlilik kriterleri (Process qualification criteria) [8,28,29]

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

Kriter değerleri uzman görüşünü yansıtmakta olup, 1 en düşük, 9 en yüksek değeri gösterir.

Tablo 8. Proses yeterlilik kriterleri-devam (Process qualification criteria- continued) [8,28,29]

Kriterler	Yüzey Hasarlama (mm)			Köşe Yarıçap (mm)			Yüzey Kalitesi (μmRa)			Koniklik (mm/mm)			Tolerans (mm)		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
PAM	0,9000	0,8000	0,7000	5,00	4,00	3,00	7,50	6,00	5,00	0,080	0,070	0,070	3,000	1,300	0,800
AWJM	0,0300	0,0250	0,0200	0,60	0,50	0,40	0,40	0,30	0,20	0,004	0,003	0,003	0,060	0,040	0,026
EBM	0,0300	0,0250	0,0250	0,35	0,25	0,15	4,00	3,00	1,00	0,250	0,200	0,150	0,030	0,020	0,010
RUSM	0,0300	0,0250	0,0250	0,09	0,08	0,07	0,75	0,50	0,25	0,005	0,004	0,003	0,022	0,012	0,008
WJM	0,0003	0,0002	0,0001	0,60	0,50	0,40	0,40	0,30	0,20	0,004	0,003	0,003	0,050	0,030	0,020
USM	0,0300	0,0250	0,0200	0,09	0,08	0,07	0,75	0,50	0,25	0,005	0,004	0,003	0,025	0,013	0,010
ECG	0,0030	0,0020	0,0010	0,14	0,13	0,12	0,50	0,30	0,20	0,003	0,002	0,001	0,030	0,025	0,010
ECM	0,0060	0,0050	0,0040	0,25	0,20	0,15	1,50	1,00	0,20	0,003	0,002	0,001	0,100	0,050	0,025
ECH	0,0030	0,0020	0,0010	0,14	0,13	0,12	0,80	0,50	0,20	0,003	0,002	0,001	0,015	0,013	0,010
AJM	0,0300	0,0250	0,0200	0,25	0,20	0,15	1,25	0,60	0,25	0,006	0,005	0,004	0,120	0,050	0,030
CHM	0,0060	0,0050	0,0040	1,35	1,25	1,15	2,50	2,00	0,50	0,400	0,300	0,200	0,080	0,030	0,010
EDM	0,0300	0,0200	0,0100	0,50	0,40	0,30	3,00	2,00	0,30	0,003	0,002	0,001	0,100	0,025	0,010
WEDM	0,0300	0,0200	0,0100	0,25	0,20	0,15	1,25	0,75	0,30	0,060	0,050	0,040	0,025	0,015	0,007
LBM	0,1500	0,1000	0,0500	0,60	0,50	0,40	1,50	1,00	0,40	0,060	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010

Kriterler "maliyet" türü kriterler olup, L değeri en kötü spesifik değeri, U değeri ise düşük değer olmasına rağmen en iyi spesifik değeri ifade eder.

Tablo 8. Proses yeterlilik kriterleri-devam (Process qualification criteria- continued) [8,28,29]

Kriterler	Delik Çapı (mm)			Kesme Kalınlığı (mm)			L/D - t/w oranı			İşleme Hızı (mm ³ /dak)		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
PAM	2,200	2,00	1,800	2,200	2,00	1,800	8,00	10,00	12,00	20000	50000	75000
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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

Kriterler "maliyet" türü kriterler olup, L değeri en kötü spesifik değeri, U değeri ise düşük değer olmasına rağmen en iyi spesifik değeri ifade eder.

4.5. Karar Matrisinin Oluşturulması (Obtaining of the Decision Matrix)

Uygulama üzerinden girilen bilgiler ve elemeler neticesinde AİY'ler ve kriterlerden oluşan karar matrisi oluşturulur. Veri tabanında ilgili kritere ait olan alt limit, ortalama ve üst limit değerleri literatürden derlenmiştir.

Geliştirilen KDS'de her üç değer de kullanılabilir durumda olup, çalışmamızda yapılan uygulamada bulanık ÇKKV yöntemi kullanılmamış, ortalama (M) değerleri baz alınarak AHP-TOPSIS yöntemi

uygulanmıştır. KDS, L ve U verileri veya karma bir şekilde uygulanabilir niteliktedir. Bu durum kullanıcıya farklı uygulamalar için esneklik sağlamaktadır. Uygulama ekranlarından AHP yöntemi için ikili karşılaştırma matrislerine veri girişi yapılabilmektedir. Kriter ağırlık vektörünün tutarlılık oranları da uygulama sonucunda kontrol edilebilmektedir. Kullanıcının girmiş olduğu bilgilere ve proseslerin yeterliliklere göre oluşturulan karar matrisinin ve kriter ağırlık vektörünün TOPSIS metoduna otomatik aktarılması sonucunda TOPSIS yöntemiyle sıralama sonuçları elde edilmektedir.

The screenshot shows the 'MainWindow' application interface with the following sections:

- Malzeme Seçimi (Material Selection):** Radio buttons for Aluminyum, Çelik, Süper Alaşımlar, Titanyum, Refrakter, Plastik, Seramik (selected), and Cam.
- Proses Seçimi (Process Selection):** Radio buttons for Delik Delme (selected), Boşluk İşleme, Kesme, Cep İşleme, Bileme, Çapak Alma, and Diş Açma.
- Kriterlerin Seçimi (Criteria Selection):** Radio buttons for Tolerans, Yüzey Kalitesi, Yüzey Hasarlama, Köşe Yarıçap, Koniklik, İşleme Hızı(Sub), Minimum Delik Çapı, Minimum Kesme Kalınlığı, L/D ve t/w oranı, Malzeme(Sub), Yatırım, Takım/Fikstür, Takım Aşınması, Güç Tüketimi, and İşçilik.
- Prosesler (Processes):** A list of processes with colored buttons: AWJM (green), CHM (green), EBM (red), ECG (red), ECH (red), ECM (red), AJM (green), EDM (red), LBM (red), PAM (red), RUSM (red), USM (red), WEDM (red), and WJM (green).
- Right Panel:** Includes 'Uncheck All' and 'Check All' buttons, input fields for 'Delik Delme L/D Oranı' (5,7) and 'Delik Delme D Oranı' (0,64), and checkboxes for 'Tolerans' (checked, 0,05), 'Yüzey Kalitesi' (checked), 'Yüzey Hasarlama' (checked), 'Koniklik' (checked), 'Delik Çapı', 'Derinlik/Çap (L/D)', 'İşleme Hızı', 'Malzeme(Sub)', 'Yatırım', 'Takım/Fikstür', 'Takım Aşınması', 'Güç Tüketimi', and 'İşçilik'. A 'Filtrele' button is at the bottom.

Şekil 5. Örnek1: Proses ve kriter bilgilerinin girilmesi (Example 1: Entering process and criteria information)

Kriter Ağırlıklarını Giriniz		tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	koniklik
tolerans		1.0	3.0	5.0	3.0
yuzey_kalitesi		0.333	1.0	5.0	3.0
yuzey_hasarlama		0.2	0.2	1.0	1.0
koniklik		0.333	0.333	1.0	1.0

Kriter Ağırlıklarını Hesapla

Karar Matrisi		tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	koniklik
AJM		0.05	0.6	0.025	0.005
WJM		0.03	0.3	0.0002	0.003
AWJM		0.04	0.3	0.025	0.003
CHM		0.03	2	0.005	0.3

Özet

```

best_distance [0.22204712 0.2968896 0.26715397 0.1407722 ]
worst_distance [0.1510605 0. 0.08986695 0.25915793]
worst_similarity [0.40487113 0. 0.25171341 0.64800802]
rank_to_worst_similarity [2, 3, 1, 4]
best_similarity [0.59512887 1. 0.74828659 0.35199198]
rank_to_best_similarity [4, 1, 3, 2]
rank_to_best_similarity as process NAME :CHM AJM AWJM WJM
CR Value : 0.07 and The solution is consistent
weights : [0.507, 0.293, 0.088, 0.113]

```

Şekil 6. Örnek1:AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi (Example1: Displaying AHP and TOPSIS results)

Literatürde yer alan çalışmalardaki vakalar göz önünde bulundurularak geliştirilen KDS ile yapılan bazı uygulama örnekleri, ekran görüntüleri ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Örnek 1 [2, 8]: İşlenecek malzemenin seramik; işlemin delik delme; proses yeterlilikte D'nin 0,64 mm, L/D oranının da 5,7 mm olduğu bir örnek uygulama KDS'ye girildiğinde Şekil 5 ve Şekil 6'da yer alan ekran görüntüleri sunulur. Neticede en uygun AİY karar verici tarafından son karar verilerek seçim yapılabilmesi için Şekil 6'daki gibi ekranda gösterilmektedir. Buna göre Şekil 5'de yer alan seçili kriterlere göre ve girilen kriter ağırlıkları

ile kriter verileri doğrultusunda Şekil 6'daki sonuçlar elde edilir. Buna göre, CHM birinci sırada, AJM ise 2. sırada yer alan AİY olarak karşımıza çıkmıştır. AWJM ve WJM yöntemleri ise karar verici tarafından göz önünde bulundurulabilecek diğer 2 yöntem olarak önerilmektedir. AHP-TOPSIS yönteminin uygulama adımları ve sonuçları ise Tablo 9'da verilmiştir.

Örnek 2 [2,8]: İşlenecek malzemenin Çelik 4140; işlemin cep işleme; proses yeterlilikte tolerans = 0,13 mm, t/w = 3,86 olduğu bir örnek KDS'ye girildiğinde Şekil 7 ve Şekil 8'de yer alan ekran görüntüleri elde edilir.

Malzeme Seçimi

- Alüminyum
- Çelik
- Süper Alaşımlar
- Titanyum
- Refrakter
- Plastik
- Seramik
- Cam

Proses Seçimi

- Delik Delme
- Boşluk İşleme
- Kesme
- Cep İşleme
- Bileme
- Çapak Alma
- Dış Açma

Kriterlerin Seçimi

- Tolerans
- Yüzey Kalitesi
- Yüzey Hasarlama
- Köşe Yarıçap
- Koniklik
- İşleme Hızı (Sub)
- Minimum Delik Çapı
- Minimum Kesme Kalınlığı
- L/D ve t/w oranı
- Malzeme (Sub)
- Yatırım
- Takım/Fikstür
- Takım Aşınması
- Güç Tüketimi
- İşçilik

Prosesler

- AWJM
- CHM
- EBM
- ECG
- ECH
- ECM
- AJM
- EDM
- LBM
- PAM
- RUSM
- USM
- WEDM
- WJM

Uncheck All | Check All

t/w Oranı: 3.86 | Ok

Tolerans: 0,013

Yüzey Kalitesi

Yüzey Hasarlama

Köşe Yarıçap

Koniklik

Derinlik/Genişlik (t/w)

İşleme Hızı

Malzeme (Sub)

Yatırım

Takım/Fikstür

Takım Aşınması

Güç Tüketimi

İşçilik

Filtrele

Şekil 7. Örnek 2: Proses ve kriter bilgilerinin girilmesi (Example 2: Entering process and criteria information)

Kriter Ağırlıklarının Giriniz

	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	yatirim	iscilik
tolerans	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
yuzey_kalitesi	0.333	1.0	2.0	4.0	6.0
yuzey_hasarlama	0.2	0.5	1.0	3.0	5.0
yatirim	0.143	0.25	0.333	1.0	4.0
iscilik	0.111	0.167	0.2	0.25	1.0

Kriter Ağırlıklarının Hesapla

Karar Matrisi

	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	yatirim	iscilik
AJM	0.05	0.6	0.025	2	4
USM	0.013	0.5	0.025	3	6
RUSM	0.012	0.5	0.025	4	6
ECM	0.05	1	0.005	9	7
CHM	0.03	2	0.005	6	3
EDM	0.025	2	0.02	8	3

Özet

```

best_distance      [0.10857463 0.25944361 0.26460658 0.09451241 0.140643 0.1586507 ]
worst_distance     [0.24687878 0.06078732 0.06106693 0.24491685 0.15914762 0.14722607]
worst_similarity   [0.6945461 0.18982338 0.18751557 0.72155491 0.53086257 0.48132478]
rank_to_worst_similarity [3, 2, 6, 5, 1, 4]
best_similarity     [0.3054539 0.81017662 0.81248443 0.27844509 0.46913743 0.51867522]
rank_to_best_similarity [4, 1, 5, 6, 2, 3]
rank_to_best_similarity as process NAME :ECM AJM CHM EDM USM RUSM
CR Value : 0.05 and The solution is consistent
weights : [0.521, 0.23, 0.144, 0.072, 0.033]

```

Şekil 8. Örnek 2: AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi (Example 2: Displaying AHP and TOPSIS results)

Bu örnekte en uygun olandan uygun olmayana AIY sıralaması girilen kriter ağırlıkları ve kriter verileri doğrultusunda ECM, AJM, CHM, EDM, USM ve RUSM olarak tespit edilmiştir.

Örnek 3 [2,8]: İşlenecek malzemenin süper alaşım; işlemin delik delme; proses yeterliliğinin $D = 0,9$ mm, tolerans= 0,05mm, $L/D = 1,22$ olduğu bir örnek KDS'ye girildiğinde Şekil 9 ve Şekil 10'da yer alan ekran görüntüleri ekrana yansır. Bu örnekte ise sıralama girilen kriter ağırlıkları ve kriter verileri doğrultusunda ECM, AJM, EDM, CHM, AWJM, WJM olarak belirlenmiştir.

Örnek 4: Çoğun'un [8,46] çalışmasında iş parçası malzemesi Çelik; işlem; silindirik delik işleme;

proses gereksinimleri: Delik için $D=52$ mm, boyut toleransı 0,5 mm, koniklik 0,05 mm/mm'den az, delik uzunluğu 7,6 mm, $L/D=5$ olarak uygulanan işlem bu örnekte ele alınmıştır. Kullanılan iş malzemesi nedeniyle Cogun [8,42] çalışmasında, AJM ve WJM'yi hariç tutmuş ve EDM, ECM, LBM ile EBM alternatif seçenekler olarak belirlenmiştir. Çalışmamızda geliştirilen KDS'ye ilgili değerler girildiğinde en uygun yöntem olarak LBM yöntemi ÇKKV aşamasına geçmeden ön eleme aşamasında belirlenebilmiştir. Çoğun'un [8,42] çalışmasında da yine LBM yöntemi en uygun yöntem olarak belirlenmiştir. Geliştirdiğimiz KDS daha ön eleme aşamasında en uygun yöntemi yakalayabilmiştir (Şekil 11).

Şekil 9. Örnek3: Proses ve kriter bilgilerinin girilmesi (Example 3: Entering process and criteria information)

Kriter Ağırlıklarını Giriniz					
	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	isleme_hizi	yatirim
tolerans	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
yuzey_kalitesi	0.333	1.0	2.0	4.0	6.0
yuzey_hasarlama	0.2	0.5	1.0	3.0	5.0
isleme_hizi	0.143	0.25	0.333	1.0	2.0
yatirim	0.111	0.167	0.2	0.5	1.0

Kriter Ağırlıklarını Hesapla

Karar Matrisi					
	tolerans	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	isleme_hizi	yatirim
AJM	0.05	0.6	0.025	50	2
WJM	0.03	0.3	0.0002	500	3
AWJM	0.04	0.3	0.025	600	4
ECM	0.05	1	0.005	2000	9
CHM	0.03	2	0.005	40	6
EDM	0.025	2	0.02	800	8

Özet

```

best_distance [0.11944689 0.19462123 0.144874 0.10257131 0.14130103 0.14262557]
worst_distance [0.16417115 0.03040426 0.12077064 0.15882991 0.13211328 0.14754963]
worst_similarity [0.57884592 0.13511474 0.45463234 0.60760968 0.48319811 0.50848465]
rank_to_worst_similarity [2, 3, 5, 6, 1, 4]
best_similarity [0.42115408 0.86488526 0.54536766 0.39239032 0.51680189 0.49151535]
rank_to_best_similarity [4, 1, 6, 5, 3, 2]
rank_to_best_similarity as process NAME :ECM AJM EDM CHM AWJM WJM
CR Value : 0.03 and The solution is consistent
weights : [0.523, 0.232, 0.144, 0.063, 0.038]

```

Şekil 10. Örnek 3:AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi (Example 3: Displaying AHP and TOPSIS results)

Örnek 5 [8,46]: Örnek parçanın elektrokimyasal işleme ile elde edilmiş eşit aralıklı 16 adet cebi vardır. Cepler yaklaşık $16,5 \times 8,9$ mm ölçülerindedir ve 2,3 mm derinliğe sahiptir. Tolerans 0,13 mm olacak şekilde tüm cepler işlenmiştir. ECM sayesinde çapaksız 6 dakikadan kısa süren tek operasyonda işlem gerçekleştirilmiş olup, malzeme bilgisi verilmemiştir. Çalışmada 4140 kalıp çeliğinin kullanıldığı varsayılmıştır. Böylece söz konusu uygulamada; çalışma malzemesi; çelik, işlem; cep açma; proses gereksinimleri ise cep boyutları; uzunluk: 16,5 mm, genişlik: 8,9 mm, derinlik: 2,3 mm($t/w=3,86$), boyut toleransı: 0,13 mm olarak alınmıştır.

Ön eleme sonucunda alternatif AİY'ler AJM, USM, RUSM, ECM, CHM ve EDM olarak tespit edilmiş olup, AHP-TOPSIS uygulaması sonucunda ilk üç AİY; ECM, EDM ve CHM olarak belirlenmiştir (Şekil 12). AHP yönteminde kriter ağırlıkları literatürdeki uygulamada kullanılan ağırlıklarla eşdeğer olarak belirlenmiştir. Böylece, elde edilen sıralama sonuçları literatürde gerçekleştirilmiş olan çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılabilmektedir.

Sıralama karşılaştırılması sonucunda KDS'den elde edilen sıralamanın literatürdeki yöntemlerle yapılan sıralama sonuçlarıyla benzer olduğu görülmektedir (Tablo 10). Tüm sıralamalarda KDS'de ilk sırada yer alan ECM birinci sırada yer almakta, KDS'de ikinci sırada yer alan EDM ise literatürdeki diğer çalışmalarda ilk üç sırada yer alabilmektedir.

Bu sonuçlara göre geliştirilen KDS'nin pratik uygulamalarda kullanışlı, hızlı sonuç verebilen ve esnek yapısıyla AİY seçimine uygun bir KDS olduğu söylenebilir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Sonuç olarak, geliştirilen KDS ile AİY seçim problemine uygun bir araç AHP ve TOPSIS yardımıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen KDS kullanıcıya kriter verilerini kullanma aşamasında esnek bir seçim olanağı sunmakta ve belli işlemler için proses kabiliyetlerine yönelik olarak daha hassas veya alt sınır verileri tercih edilerek de bir sıralama yapma imkanı vermektedir.

Tablo 9. AHP-TOPSIS uygulama örneği (Application example for the AHP-TOPSIS)

AHP-İkili Karşılaştırma Matrisi	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlar	Koniklik	Normalize Matris				Satır Top.	Kriter Ağırlığı
					0.536	0.662	0.417	0.375		
Tolerans	1	3	5	3	0.536	0.662	0.417	0.375	1.989	0.4973
Yüzey Kalitesi	0.333	1	5	3	0.179	0.221	0.417	0.375	1.191	0.2977
Yüzey Hasarlar	0.2	0.2	1	1	0.107	0.044	0.083	0.125	0.360	0.0899
Koniklik	0.333	0.333	1	1	0.179	0.074	0.083	0.125	0.460	0.1151
Toplam	1.8667	4.533	12.0	8	CR= 0.07					1.0
TOPSIS-Karar Matrisi	Tolerans	Yüzey Kalitesi	Yüzey Hasarlar	Koniklik						
AJM	0.050	0.600	0.025	0.005						
WJM	0.030	0.300	0.000	0.003						
AWJM	0.040	0.300	0.025	0.003						
CHM	0.030	2.000	0.005	0.300						
Kare top. Karekök	0.077	2.131	0.036	0.300						
AHP - Kriter Ağırlığı	0.4973	0.2977	0.0899	0.1151						
AJM	0.3237	0.0838	0.0629	0.0019						
WJM	0.1942	0.0419	0.0005	0.0012						
AWJM	0.2590	0.0419	0.0629	0.0012						
CHM	0.1942	0.2794	0.0126	0.1151						
A ⁺	0.1942	0.0419	0.0005	0.0012						
A ⁻	0.3237	0.2794	0.0629	0.1151						
	S ⁺	S ⁻	C [*]	Sıralama						
AJM	0.1497	0.2260	0.6015	3						
WJM	0.0000	0.3001	1.0000	1						
AWJM	0.0899	0.2713	0.7510	2						
CHM	0.2637	0.1389	0.3450	4						

Tablo 10. Örnek 5 için elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması (Comparison of the results obtained for Example 5 with studies in the literature)

Alternatif	Önerilen KDS	Yurdakul ve Cogun [8, 46]	ÇKKV Uygulamaları				
			AHP-TOPSIS** [2,17]	Bulanık AHP-TOPSIS [2,17]	BNP temelli Bulanık TOPSIS [48]	Genelleştirilmiş ort. Dayalı [2, 17]	Bulanık TOPSIS (Chen'in [47] yöntemi)
ECM	1	1	1	1	1	1	1
EDM	2	3	4	3	4	4	4
CHM	3	*	*	*	*	*	*
RUSM	4	*	3	2	2	3	2
USM	5	*	*	*	*	*	*
AJM	6	2	2	3	3	2	3

*İlgili çalışmada alternatif olarak değerlendirmeye alınmamıştır.

**Farklı kriterler ve ağırlık puanları ile yapılmış sıralamayı göstermektedir. Önerilen KDS'de bu sıralamaya yakın bir değerlendirme yapılarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

MainWindow
Tab 1 | Tab 2

Malzeme Seçimi

- Alüminyum
- Çelik
- Süper Alaşımlar
- Titanyum
- Refrakter
- Plastik
- Seramik
- Cam

Proses Seçimi

- Delik Delme
- Boşluk İşleme
- Kesme
- Cep İşleme
- Bileme
- Çapak Alma
- Dış Açma

Kriterlerin Seçimi

- Tolerans
- Yüzey Kalitesi
- Yüzey Hasarlaması
- Köşe Yarıçap
- Koniklik
- İşleme Hızı(Sub)
- Minimum Delik Çapı
- Minimum Kesme Kalınlığı
- L/D ve t/v oranı
- Malzeme(Sub)
- Yatırım
- Takım/Fikstür
- Takım Ağırlığı
- Güç Tüketimi
- İşçilik

Prosesler

- AJM
- USM
- RUSM
- ECM
- CHM
- EDM
- LBM
- PAM
- BUSH
- LHM
- WEDM

Uncheck All

Delik Delme L/D Oranı: 5, Delik Delme D Oranı: 1.52

Tolerans: 0.5

Yüzey Kalitesi

Yüzey Hasarlaması

Koniklik: 0.05

Delik Çapı

Derinlik(Çap (L/D))

İşleme Hızı

Malzeme(Sub)

Yatırım

Takım/Fikstür

Takım Ağırlığı

Güç Tüketimi

İşçilik

Şekil 11. Örnek 4: KDS ön eleme sonucu (Example 4. Pre-selection result for DSS)

Tab 1 | Tab 2

Kriter Ağırlıklarını Giriniz

	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	kose_yaricap	koniklik	isleme_hizi	yatirim
yuzey_kalitesi	1.0	6.0	6.0	6.0	1.0	1.0
yuzey_hasarlama	0.167	1.0	1.0	1.0	0.167	0.167
kose_yaricap	0.167	1.0	1.0	1.0	0.167	0.167
koniklik	0.167	1.0	1.0	1.0	0.167	0.167
isleme_hizi	1.0	6	6	6	1.0	1.0
yatirim	1.0	6	6	6	1.0	1.0

Kriter Ağırlıklarını Hesapla

Karar Matrisi

	yuzey_kalitesi	yuzey_hasarlama	kose_yaricap	koniklik	isleme_hizi	yatirim
AJM	0.6	0.025	0.2	0.005	50	2
USM	0.5	0.025	0.08	0.004	600	3
RUSM	0.5	0.025	0.08	0.004	800	4
ECM	1	0.005	0.2	0.002	2000	9
CHM	2	0.005	1.25	0.3	40	6
EDM	2	0.02	0.4	0.002	800	8

Özet

```

best_distance      [0.30546664 0.25431357 0.23013012 0.11118982 0.24248634 0.1555027 ]
worst_distance     [0.02234458 0.07257712 0.10103761 0.27581813 0.17001958 0.20321076]
worst_similarity   [0.06816296 0.22202261 0.30509497 0.71269372 0.41216276 0.56649885]
rank_to_worst_similarity [1, 2, 3, 5, 6, 4]
best_similarity     [0.93183704 0.77797739 0.69490503 0.28730628 0.58783724 0.43350115]
rank_to_best_similarity [4, 6, 5, 3, 2, 1]
rank_to_best_similarity as process NAME :ECM EDM CHM RUSM USM AJM
CR Value          : 0.0 and The solution is consistent
weights           : [0.286, 0.048, 0.048, 0.048, 0.284, 0.286]

```

Şekil 12. Örnek 5: AHP ve TOPSIS sonuçlarının gösterimi (Example 5: Displaying AHP and TOPSIS results)

Bu çalışmada geliştirilen KDS'nin diğer bir avantajı yeni yöntemler ve değerlerini ekleme/çıkarma yapılmasına olanak verir bir yapıda olmasıdır. Günümüzde sürekli gelişen AIY alanındaki gerek malzeme özellikleri, gerekse işlem kabiliyetlerine dair güncellenen verilerin sisteme girilerek güncel verilerle seçim yapılabilmesine olanak tanıyan bir yapıda olması da geliştirilen KDS'nin diğer bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. İlerideki çalışmalarda yeni AIY yöntemleri alternatif kümesine eklenebilir ve böylece geliştirilmiş olan KDS teknolojik gelişmelere göre adapte edilebilir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI

(DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Leman Kargın: Literatür tarama, KDS geliştirilmesi, uygulama sonuçlarının analizi, makale yazımı.

Literature review, development of the DSS, analysis of application results, performing the writing process.

Yusuf Tansel İç: Sürecin yönetimi, konsept tasarımı, sonuçların analiz ve yorumlanması, makalenin yazımı.

Supervising the process, conceptual design, analysis, and interpretation of the results, and performing the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Rajurkar, K.P. ve Ross, R.F. The role of nontraditional manufacturing processes in future manufacturing industries. ASME Manufacturing International. 1992; 23–37.

[2] Kul Y, Seker A, Yurdakul M. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Alishılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Kullanılması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 29(3):589–603.

[3] 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, 2008: 391-524 .

[4] El-Hofy H. A.-G. Advanced Manufacturing Processes. Nontraditional and Hybrid Machining Processes. New York: McGraw Hill, 2005.

[5] Gupta K., Jain N.K., Laubscher R.F. Hybrid Machining Processes. Perspective on machining and finishing. Heidelberg: Springer, 2016.

[8] Yurdakul, M., Cogun, C. Development of a multi-attribute selection procedure for nontraditional machining processes, Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Engineering Manufacture. 2003; 217(7), 993-1009.

[9] Chakraborty, S., Dey, S. QFD-based expert system for non-traditional machining processes selection, Expert Systems with Applications. 2007; 32(4), 1208-1217.

[10] Das Chakladar, N., Chakraborty, S. A combined TOPSIS-AHP method based approach for nontraditional machining processes selection, Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Engineering Manufacture. 2008; 222(12), 1613-1623.

[11] Chandraseelan, E.R., Jehadeesan, R., & Raajenthiren, M. Web-based knowledge based system for selection of non-traditional machining processes. Malaysian Journal of Computer Science. 2008; 21(1), 45-56.

[12] Das Chakladar N., Das, R., Chakraborty, S. A digraph-based expert system for non-traditional machining processes selection, International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2009; 43(3-4): 226-237.

[13] Sugumaran, V., Muralidharan, V., & Hegde, B.K. Intelligent process selection for NTM - A neural network approach. International Journal of Industrial Engineering Research and Development. 2010; 1(1): 87-96.

[14] Das, S., Chakraborty, S. Selection of non-traditional machining processes using analytic Network process, Journal of Manufacturing Systems. 2011; 30(1): 41-53.

- [15] Sadhu, A., Chakraborty, S. Non-traditional machining processes selection using data envelopment Analysis (DEA). *Expert Systems with Applications*; 2011; 38(7): 8770-8781.
- [16] Karande, P., Chakraborty, S. Application of PROMETHEE-GAIA method for non-traditional machining processes selection, *Management Science Letters*. 2012; 2(6): 2049-2060.
- [17] Kul Y. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Metotlarının Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [18] Temuçin, T., Tozan, H., Valíček, J., & Harničárová, M. A fuzzy based decision support model for non-traditional machining process selection. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*. 2013; 20(5): 787-793.
- [19] Choudhury, T., Das, P. P., Roy, M. K., Shivakoti, I., Ray, A., Pradhan, B. B. Selection of nontraditional machining process: A distance based approach, in *Proceedings of Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. IEEE International Conference. 2013: 852-856.
- [20] Chatterjee, P., & Chakraborty, S. Nontraditional machining processes selection using evaluation of mixed data method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013; 68(5–8): 1613–1626.
- [21] Roy, M. K., Ray, A., Pradhan, B. B. Non-traditional machining process selection-an integrated approach, *International Journal for Quality Research*. 2017; 11(1): 71-94.
- [22] Azaryoon, A., Hamidon, M., & Radwan, A. An expert system based on a hybrid multi-criteria decision making method for selection of non-conventional machining processes. In *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications Ltd. 2015; 735: 41-49.
- [23] Madić, M., Radovanović, M., Petković, D. Non-conventional machining processes selection using multi-objective optimization on the basis of ratio analysis method. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2015;(10)11: 1441-1452.
- [24] Madić, M., Petković, D., & Radovanović, M. Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method. *Serbian Journal of Management*. 2015; 10(1): 61–73.
- [25] Chatterjee, P., Mondal, S., Boral, S., Banerjee, A., & Chakraborty, S. A novel hybrid method for non-traditional machining process selection using factor relationship and multi-attributive border approximation method. *Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering*. 2017; 15(3): 439–456.
- [26] Prasad, K., & Chakraborty, S. A decision guidance framework for non-traditional machining processes selection. *Ain Shams Engineering Journal*. 2018; 9(2): 203–214.
- [27] Talib, F., & Asjad, M. Prioritisation and selection of non-traditional machining processes and their criteria using analytic hierarchy process approach. *International Journal of Process Management and Benchmarking*. 2019; 9(4): 522-546.
- [28] Yurdakul, M., & İç, Y.T. Comparison of fuzzy and crisp versions of an AHP and TOPSIS model for nontraditional manufacturing process ranking decision. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*. 2019; 18(2): 167-192.
- [29] Yurdakul, M., İç, Y.T., & Atalay, K.D. Development of an intuitionistic fuzzy ranking model for nontraditional machining processes. *Soft Computing*. 2019; 24(1): 1-16.
- [30] Chakraborty, S., Dandge, S.S., & Agarwal, S. Non-traditional machining processes selection and evaluation: A rough multi-attributive border approximation area comparison approach. *Computers & Industrial Engineering*. 2020; 139: 106-201.
- [31] Chakraborty, S. Kumar, V. Development of an intelligent decision model for non-traditional machining processes. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2021; 4(1): 194-214.
- [32] Kumari, A., Acherjee, B. Selection of non-conventional machining process using CRITIC-CODAS method. *Materials Today: Proceedings*. 2022; 56: 66-71.
- [33] Roy, M. K., Das, P. P., Mahto, P. K., Singh, A. K., & Oraon, M. (2021). Non-Traditional Machining Process Selection: A Holistic Approach From a Customer Standpoint. In *Data-Driven Optimization of Manufacturing Processes* (pp. 165-178). IGI Global.

- [34] Jagtap, M., Karande, P. The m-polar fuzzy set ELECTRE-I with revised Simos' and AHP weight calculation methods for selection of non-traditional machining processes. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2023; 6(1): 240-281.
- [35] Saaty, T.L. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with Analytic Hierarchy Process*, Vol.VI of the AHP Series, RWS Publications, Pittsburg, USA, 2006.
- [36] İç YT, Apaydın İ. Küçük ve Orta Ölçekli Makine İmalat Firmaları İçin Dış Ticaret Kabiliyeti Analizi. *MATİM*. 2016;14(2):54-68.
- [37] Hwang, C.L. ve Yoon, K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey*, New York, Springer-Verlag, 1981.
- [38] Abo-Sinna, M. A. ve Amer, A. H. Extensions of TOPSIS for multi objective large-scale nonlinear programming problems. *Applied Mathematics and Computation*. 2005;162: 243–256.
- [39] Cheng, S., Chan, C. W., & Huang, G. H. An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2003; 16: 543–554.
- [40] Feng, C. M., & Wang, R. T. Performance Evaluation for Airlines Including the Consideration of Financial Ratios. *Journal of Air Transport Management*. 2000; 6: 133–142.
- [41] Jee, D. H. ve Kang, K. J. A method for optimal material selection aided with decision making theory. *Materials and Design*. 2000; 21: 199–206.
- [42] Olson, D. L. Comparison of Weights in TOPSIS Models. *Mathematical and Computer Modelling*. 2004; 40: 721–727.
- [43] Opricovic, S. ve Tzeng, G. H. Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 2004; 156: 445–455.
- [44] Tzeng, G. H., Lin, C. W., ve Opricovic, S. Multi-criteria analysis of alternative fuel buses for public transportation. *Energy Policy*. 2005; 33: 1373–1383.
- [45] Alvali, G. T., Balbay, A., Şişman, T., & Güneş, S. Selection of Electric Vehicle Chassis Material Using Multi-Criteria Decision Making Techniques. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*. 2021; 9(4): 573-588.
- [46] Cogun, C. Computer aided preliminary selection of nontraditional machining processes. *Int. J. Mach. Tools Mf*. 1994; 34(3): 315-326.
- [47] Chen, T. C. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*. 2000; 114(1): 1-9.
- [48] Kusumawardani, R. P., Agintiara, M. Application of fuzzy AHP-TOPSIS method for decision making in human resource manager selection process. *Procedia computer science*. 2005; 72: 638-646.