

**Alkın Kaan Günyar**  
End.Müh.

Jan Jan Engineering & Manufacturing,  
Sydney, Australia

**Yusuf Tansel İç**  
Doç.Dr.

**Hakan Önel**  
End.Müh.

Başkent Üniversitesi  
Endüstri Mühendisliği Bölümü,  
Etimesgut, Ankara

**Mustafa Yurdakul**  
Prof.Dr.

Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği  
Bölümü, Maltepe, Ankara

# Endüstriyel Robot Seçimi İçin Bir Karar Destek Sistemi

*Bu çalışmada, endüstriyel robot seçimi için bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Piyasada bulunan 193 adet robot ele alınarak bu robotların özelliklerini içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Visual Basic Kodlama dili ile oluşturulan karar destek sisteminde önce kullanıcıya yöneltilen sorular ile istenilen nitelikte robotlar elde edilmeye çalışılmış, ardından elde edilen bu robotlar arasında, literatürde çok sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS uygulanarak bir sıralama elde edilmiştir. Böylelikle kullanıcı için en iyi robot seçilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi endüstride gerçek hayat robot seçim problemleri üzerinde denenmiştir.*

*Anahtar Kelimeler: Endüstriyel robot, robot seçimi, çok ölçütlü karar verme, TOPSIS.*

## 1. GİRİŞ

İşlerinden kurtulma ve yaşantısını kolaylaştırma düşüncesi “robot” sözcüğünün güncel yaşama girmesine neden olmuştur. Bugünlerde, günlük yaşamımızda rutin işlerimizi gerçekleştirmekten endüstride kaynak, boyama, parça birleştirme işlerine, uzay teknolojisine, nükleer teknolojiye kadar uzanan alanlarda robotlar kullanılmaktadır. İnsanların hatalarından kaynaklanabilecek bozuklukların veya çok fazla tekrara dayanan işlerde insan dalgınlığı dolayısıyla oluşabilecek hataların meydana gelmesini önlemek amacıyla ya da insan hayatını tehlikeye sokabilecek fiziki ve kimyasal ortamlarda tehlikeyi bertaraf etmek amacıyla da robotların kullanımından oldukça sık söz edilmektedir. Endüstride imalat hatlarında kullanılan endüstriyel robotunun kısaca tanımı, “parçaların takım tezgâhlarına otomatik olarak yüklenip boşaltılmasını sağlayan, takım ve parçaları kaldıran, yükleyen, iten, çeken ve/veya ölçme, kontrol, montaj ve stoklama işlemleri yapan programlanabilir elemanlardır” şeklinde yapılabilir. Bununla beraber robotlar endüstride; yerleştirme, parça seçme- tezgâha yöneltme, takım ve iş parçası bağlama, parçaların montajı, sökme-değiştirme, çapak temizleme-parlatma, bitmiş parçaların ölçü kontrolü, stoklama-transfer-paketleme işlemleri, boya ve kaynak işlemleri (özellikle otomotiv sanayiinde) gibi alanlarda özellikle son yıllarda gelişen ileri imalat teknolojilerine paralel olarak yaygın bir kullanım alanına kavuşmuştur [1].

Özellikle son yıllarda Endüstri 4.0 olgusunun yoğun olarak tartışıldığı günümüzde, bu sanayi devriminin en önemli unsurlarından birisi olan robotların gerçekleştirilecek iş/işlere en uygun bir şekilde seçilmesi oldukça önemli bir hale gelmiştir. Günümüzde piyasada mevcut bulunan robotların marka, model ve tipleri düşünüldüğünde belirlenen bir işe en uygun robotun seçimi yüzlerce robotun değerlendirilerek aralarından birinin seçilmesi gibi önemli ve zorlu bir karar verme sürecini beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada bu konuda karar vericilere destek olmak amacıyla bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin detayları ilerleyen bölümlerde sunulmaktadır. Ayrıca geliştirilen KDS ile gerçekleştirilen bir uygulama çalışmasına da yer verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR

Literatürde robot seçimine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Bu çalışmalarda çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir [2]. Çalışmamızda geliştirilecek KDS’de öncelikle karar verici bir takım sorularla yönlendirilerek veri tabanından işe uygun robotların belirlenmesi sağlanacak, ardından belirlenen aday robotlar TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemiyle kendi aralarında sıralanacaklardır. Gerek uygulama kolaylığı, gerekse yöntemin matris operasyonlarıyla çözüm algoritmasına uygun olması ve bu durumun Visual Basic programında yaratacağı

kolaylıklar ile ön eleme sonucu belirlenecek aday robotların TOPSIS yönteminin ilk adımı olan karar matrisini doğrudan oluşturabilmesi imkânları değerlendirilerek çalışmamızda çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemi olarak TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çoğunluğunun ÇÖKV yöntemlerinin ve özellikle bunların bulanık set teoriyle bütünleştirilmiş varyasyonlarının robot seçimi çalışmalarına uyarlanması şeklinde çalışmalar olduğu

görülmektedir. Tablo 1'deki çalışmalardan İç v.d.'nin [20] çalışması gerçek hayat problemlerinde kullanılabilecek tarzda olsa da, ÇÖKV yöntemleri hakkında bilgi sahibi olması gereken uzmanlar tarafından uygulanabilecek niteliğe sahip bir çalışma özelliğindedir. Çalışmamızda ise özellikle KOBİ'lerin kolaylıkla kullanabileceği, uygulanması kolay ve doğrudan kullanışlı sonuçlar sunabilecek bir karar destek sistemi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 1. Literatürdeki robot seçim çalışmalarından örnekler

Yazar	Yıl	Seçim Yöntemi	Kriterler
Goh [3]	1997	AHP	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Hız
Braglia and Petroni [4]	1999	Veri Zarflama Analizi (VZA)	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Temel rotasyonlar
Parkan and Wu [5]	1999	OCRA, VZA, Utility model ve TOPSIS	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Hız
Layek and Lars [6]	2000	KDS	Robot tipi, Serbestlik Derecesi, Yük Kapasitesi, Yatay, Dikey Erişim Mesafesi, Hız, Hafıza Kapasitesi, Maliyet
Khouja et al. [7]	2000	İstatistiksel Yaklaşım	Tekrarlama Kabliyeti, Yük Kapasitesi, Erişim Mesafesi
Chu and Lin [8]	2003	Bulanık TOPSIS	Kullanıcı Arayüzü, Maliyet, Programlama Esnekliği, Yük Kapasitesi, Servis Hizmeti, Konumlama Hassasiyeti
Bhangale et al [9]	2004	OCRA ve TOPSIS	Tekrarlama Kabliyeti, Yük Kapasitesi, Hız, Tahrik Tipi, Hafıza Kapasitesi, Serbestlik Derecesi
Kapoor and Tak [10]	2005	Bulanık AHP	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Hız
Rao and Padmanabhan [11]	2006	Diyagram ve Matris metodu	Tekrarlama Kabliyeti, Yük Kapasitesi, Hız, Tahrik Tipi, Serbestlik Derecesi, Dikey Erişim Mesafesi
Karsak [12]	2008	Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) ve Bulanık Doğrusal Regresyon	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Hız, Dikey/Yatay Erişim Mesafesi, Garanti Süresi
Chatterjee et al [13]	2010	VIKOR ve ELECTRE	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Hız, Servis Hizmeti, Programlama Esnekliği
Koulouriotis and Ketipi [14]	2011	Bulanık Diyagram ve Matris metodu	Kullanıcı Arayüzü, Maliyet, Esneklik, Yük Kapasitesi, Servis Hizmeti, Hız, Konumlama Hassasiyeti.
Devi [15]	2011	Bulanık VIKOR	Programlama Esnekliği, Maliyet Servis Hizmeti, Konumlama Hassasiyeti, Yük Kapasitesi
Tao et al. [16]	2012	DEA, AHP, TOPSIS	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Hız
Karsak [17]	2012	Bulanık regresyon	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Hız
Vahdani et al. [18]	2013	Bulanık TOPSIS	Tekrarlama Kabliyeti, Maliyet Yük Kapasitesi, Konumlama Hassasiyeti
Ghorabae [19]	2016	Tip-2 bulanık set VIKOR	Kullanıcı Arayüzü, Alt Yapı Tutarlılığı, Programlama Esnekliği, Servis Hizmeti, Hız, Konumlama Hassasiyeti, Uyum, Denge Kabiliyeti
İç v.d. [20]	2013	Bulanık AHP tabanlı Karar Destek Sistemi	Dikey Erişim Mesafesi S- L-T- B eksenleri erişim aralıkları, Yük Kapasitesi, Tekrarlama Kabliyeti
Xue [21]	2016	Kalitatif Esnek Çok Ölçütlü Karar Verme Metodu	Kullanıcı Arayüzü, Maliyet, Esneklik, Yük Kapasitesi, Servis Hizmeti, Hız, Konumlama Hassasiyeti.
Kumar [22]	2016	TODIM (Tomada de Decisión Inerativa Multicritero)	Yük Kapasitesi, Tekrarlama Kabliyeti, Hız, Hafıza Kapasitesi, Manupulator erişim mesafesi
Breaza [23]	2017	AHP	Kinematik yapı, Yük Kapasitesi, Erişim Mesafesi, Tekrarlama Kabliyeti, Enerji Tüketimi, Servis İmkânları

### 3. KARAR DESTEK SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Karar Destek Sistemi Visual Basic ile kodlanmıştır. KDS'de kullanıcıya öncelikle endüstriyel robot seçimi için yönlendirici sorular sorulmakta ve istenilen özellikte aday endüstriyel robotlar elde edilmektedir. Elde edilen robotlar ikinci aşamada TOPSIS'e aktarılmakta ve robotlar arasında bir sıralama elde edilmektedir.

Karar Destek Sisteminin yapısı Şekil 1'de verilmektedir. Excel'de oluşturulan ve Visual Basic diliyle hazırlanan program kullanılarak yönlendirici sorularla beraber kullanıcının istediği robotlar veri tabanından süzülmemektedir. Kullanıcı dilerse bu robotlar arasından birisini seçebilmektedir. Diğer taraftan süzülen aday robotlar TOPSIS yöntemine aktarıldıktan sonra, kriterlere önem puanları (kriter ağırlığı) atanarak bir sıralama elde edilmekte ve böylelikle kullanıcının ihtiyacını karşılayacak robotlar arasından en uygun olanının seçilmesinin sağlanması hedeflenmektedir.

#### 3.1. Veri Tabanının Oluşturulması

Oluşturulan veri tabanında 193 robot ve bu robotlara ait özellikleri bulunmaktadır. Bu özelliklerden ilki nicel özellikleri oluşturan teknik özelliklerdir. Teknik özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Yükleme Kapasitesi ( kg )
- Uzanma Mesafesi ( mm )
- Tekrarlanabilirlik Hassasiyeti ( mm\*100 )
- Ağırlık ( kg )

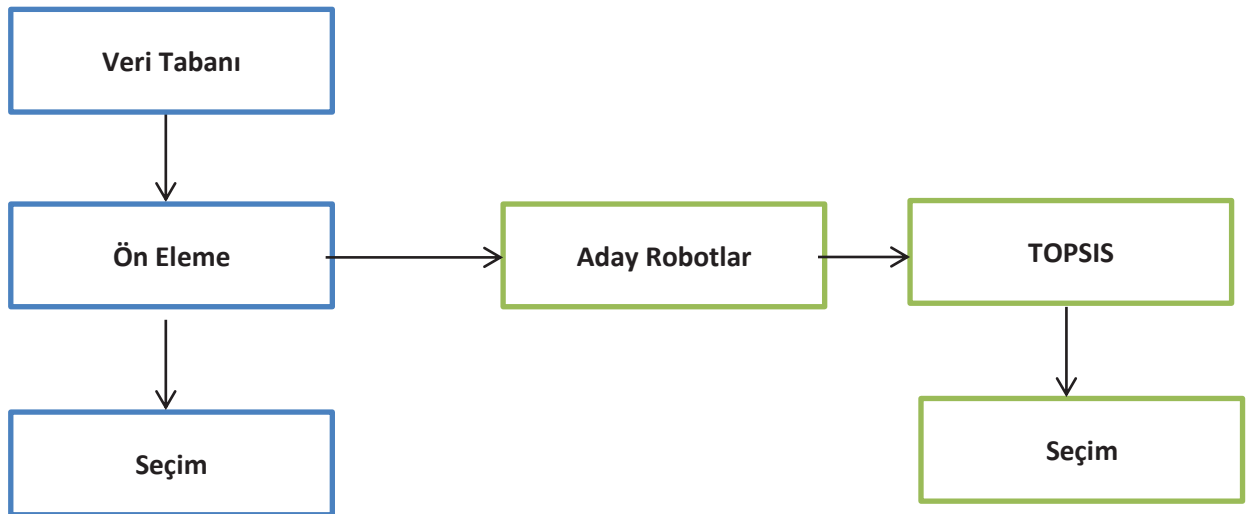
- Giriş Gücü ( kV )
- Eksen Çalışma Alanı (S,L,T,U,R,B) ( ° )
- Eksen Çalışma Hızı ( %/s )

Bu çalışmada oluşturulan veri tabanındaki robotlar, kullanımının diğer tarz robotlara göre çok yaygın olması nedeniyle 6 eksenli robotlardan oluşmaktadır. Bu eksenlerin çalışma alanları ve bu alanlarda çalışabildikleri maksimum hız olarak teknik özelliklerde bulunmaktadır. Bu 6 eksen, S, L, U, R, B ve T olmak üzere isimlendirilmiştir (Şekil 2).

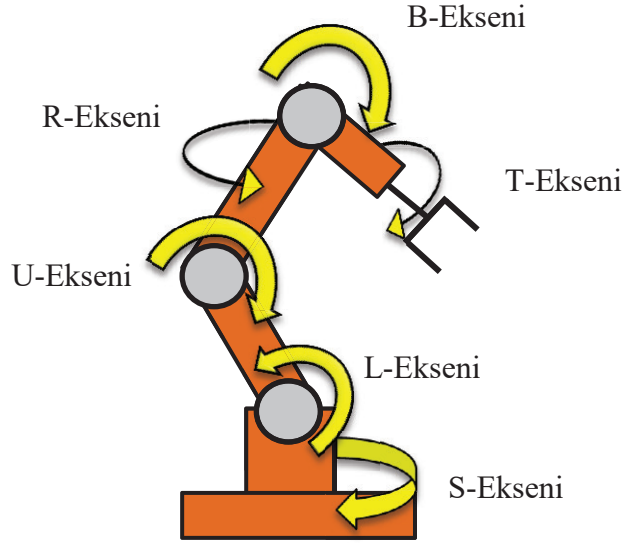
Oluşturulan veri tabanında 2. tip özellikleri temsil eden satıcı bağlantılı özellikler nitel özelliklerdir ve bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Marka
- Bağlanma Şekli
- Uygulama Şekli
- Model

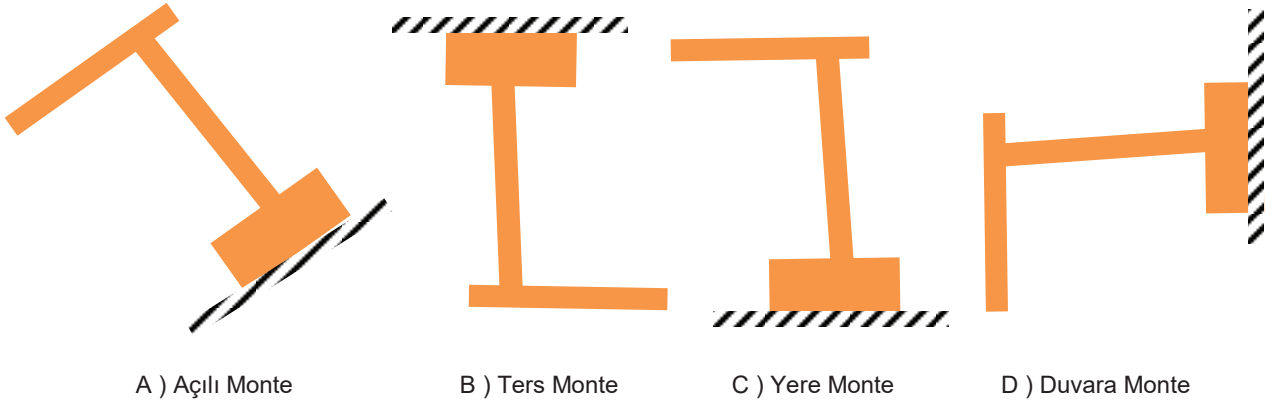
Yapılan araştırmalarda piyasada bulunan en yaygın robot markaları; ABB, Motoman, Kuka olarak belirlenmiştir. Bu robotlara ait birçok alt model bulunmakta ve bu robotların kaynak, montaj, malzeme taşıma v.b. görevleri yerine getiren robotlar bulunmaktadır. Bunların yanında kullanıcı için önemli bir diğer özellik ise robotun bağlanma şeklidir. Kullanıcının en çok tercih ettiği 4 bağlanma şekli Şekil- 3'de gösterilmiştir. Kullanıcı kendi tesis yerleşimi için en uygun olan bağlanma şeklini seçebilmesine olanak sağlamak üzere veri tabanından bu özelliğin sorgulanma imkânı sağlanmıştır



Şekil 1 – Karar Destek Sisteminin Yapısı



Şekil 2 – Endüstriyel Robotların Eksenleri [20]



Şekil 3 – Endüstriyel Robotların Bağlanma Şekilleri

Oluşturulan veri tabanındaki son özellik olan maliyet özelliği yapılan araştırmalar sonucu elde edilen endüstriyel robot fiyatlarını içermektedir. Bu fiyatlar gerek internet, gerekse de robot markalarının Türkiye temsilcilikleri ile iletişim haline geçilerek kapsamlı bir araştırma sonucunda belirlenmiştir.

### 3.2. Eleme Soruları

Veri tabanından işe uygun robotların seçimine yönelik olarak hazırlanan sorular aşağıda detaylandırılmıştır:

**Robot Tipi, Bağlanma Şekli, Yükleme Kapasitesi**

Robotun hangi tip işlevi yerine getireceğini, ne tür bağlanma şekli istendiğini ve robotun yükleme

kapasitesi ile ilgili bilgiler kullanıcıdan isenmektedir. Veri tabanında bulunan 6 çeşit işlev türü, 4 çeşit bağlanma şekli bulunmatadır. Yükleme kapasitesi kısmına girilen değer ise kullanıcının istediği minimum değeri temsil etmektedir. Yani kullanıcı yükleme kapasitesi kısmına girdiği değer üstündeki yükleri taşıma kapasitesinde olan robotların seçilmesini istemektedir. Şekil – 4 robot tipi, bağlanma şekli ve yükleme kapasitesi bilgilerinin kullanıcıya sorulduğu formu göstermektedir.

### Tekrarlama Hassasiyeti

Tekrarlama hassasiyeti için kullanıcı Şekil – 5’ de gösterilen bölüme girdiği değer altında olan endüstriyel robotları veri tabanından çağırabilmektedir.

Şekil 4 – Karar Destek Sistemi – Soru 1

Şekil 5 – Karar Destek Sistemi – Soru 2

### **Uzanma Mesafesi**

Uzanma mesafesi robotun uzanabileceği en uç mesafeyi belirtmektedir. Bu özelliğin yüksek değerlerde olması kullanıcı açısından önemlidir. Bu nedenle Şekil – 6’ da gösterilen bölüme girilen değer üstündeki robotlar kullanıcı karşısına gelmektedir.

### **Robotun Kütlesi**

Kullanım yerlerinde ve robotun monte edileceği alanların belirli bir taşıma kapasitesi sınırı bulunabilir. Bu durumların dikkate alınmasına

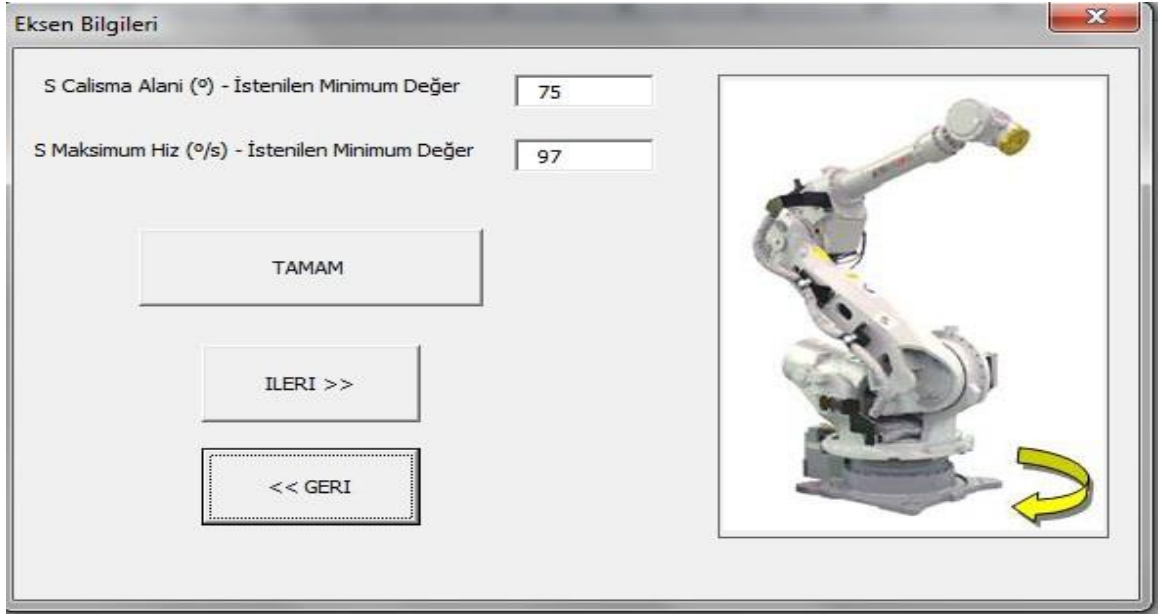
yönelik olarak Şekil 7’deki ekran hazırlanmıştır. Kullanıcı Şekil – 7’ de gösterilen bölüme girdiği değer altında olan endüstriyel robotları istiyor demektir.

Şekil 6 – Karar Destek Sistemi – Soru 3

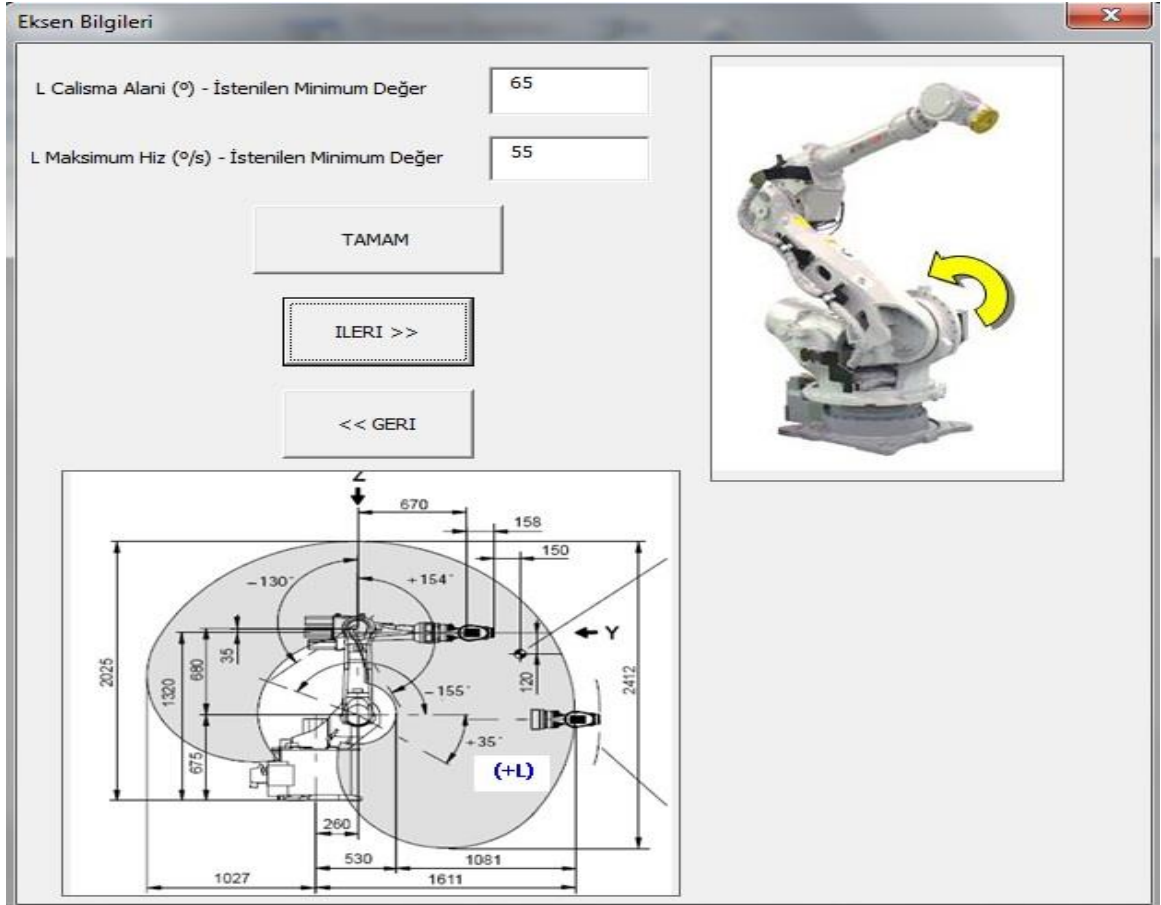
Şekil 7 – Karar Destek Sistemi – Soru 4

### **Eksenler ile İlgili Sorular**

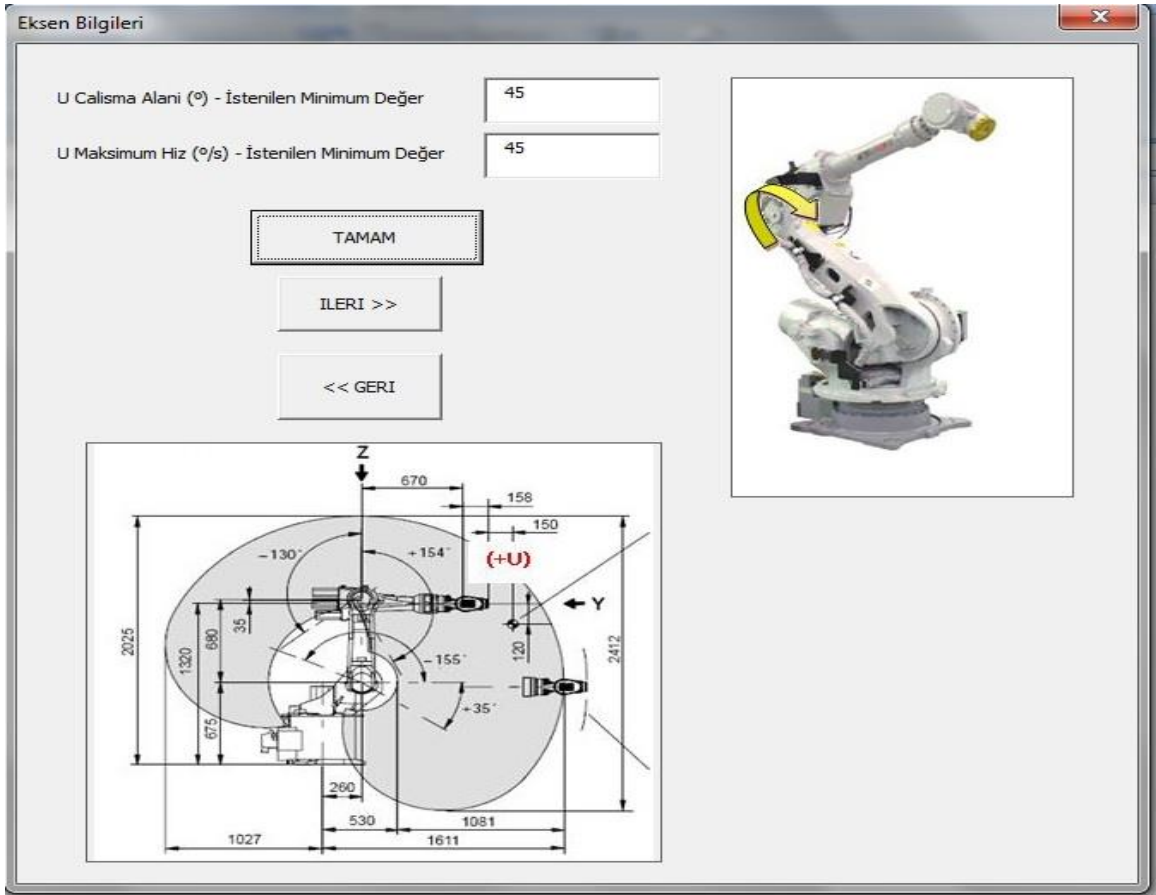
Eksenler ile ilgili sorular Şekil – 8’ den Şekil 13’e kadar 6 eksen ile ilgili istenen değerlerin sorgulandığı ekranlar kullanılarak karar vericiye yönlendirilmektedir. Şekillerde görülen kısımlara girilen değerlerin üstünde bulunan endüstriyel robotlar veri tabanından çağırılmaktadır.



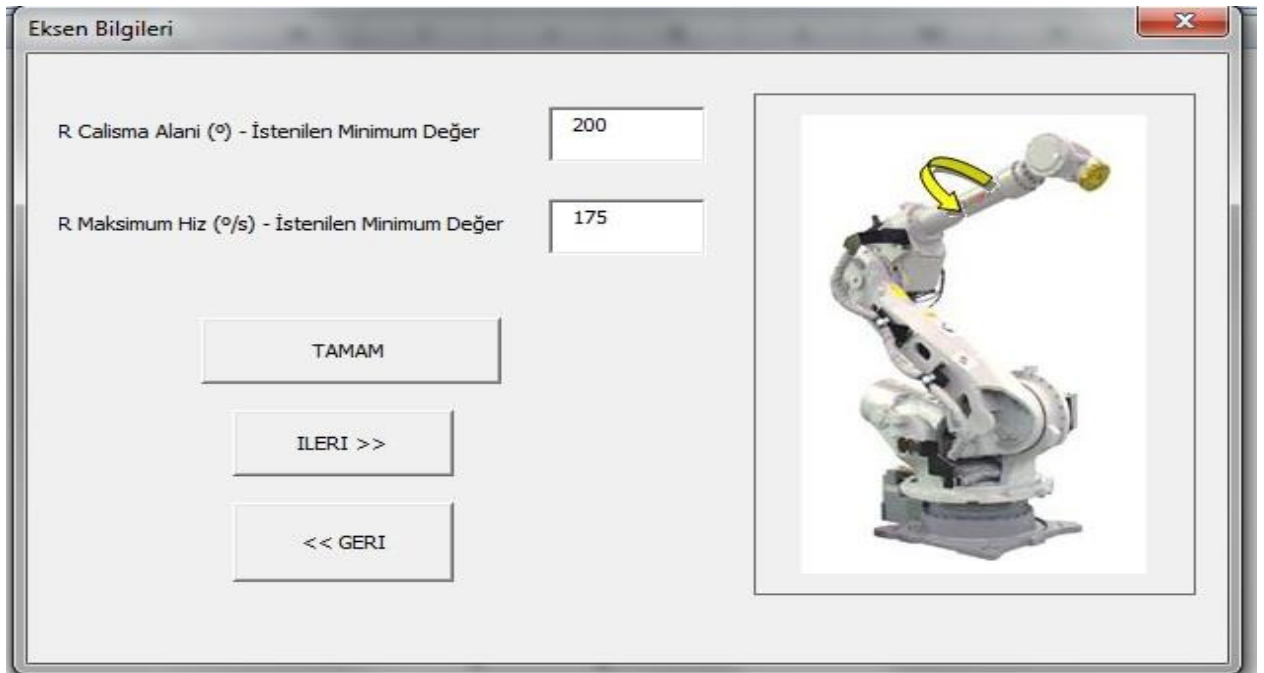
Şekil 8 – Karar Destek Sistemi – Soru 5



Şekil 9 – Karar Destek Sistemi – Soru 6



Şekil 10 – Karar Destek Sistemi – Soru 7



Şekil 11 – Karar Destek Sistemi – Soru 8

UserForm9

B Çalışma Alanı (°) - İstenilen Minimum Değer

B Maksimum Hiz (°/s) - İstenilen Minimum Değer

TAMAM

ILERI >>

<< GERI

Şekil 12 – Karar Destek Sistemi – Soru 9

Eksen Bilgileri

T Çalışma Alanı (°) - İstenilen Minimum Değer

T Maksimum Hiz (°/s) - İstenilen Minimum Değer

TAMAM

<< GERI

BITIR

Şekil 13 – Karar Destek Sistemi – Soru 10

### Fiyat

Bu bölümde kullanıcının endüstriyel robot için ayırmış olduğu bütçe sorulmaktadır. Şekil – 14’de gösterilen soru formuna girilen değerlerin altında fiyatı bulunan robotlar kullanıcıya sunulur.

### 3.2. TOPSIS’le Robot Seçimi

Kullanıcıya önceki bölümde belirtilen sorular sorulduktan sonra elde edilen robotlar arasından tercih yapabilmek adına çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS uygulanarak robotların

sıralaması elde edilir. TOPSIS, Hwang ve Yoon tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir. Literatürde TOPSIS yönetimi kullanılarak birçok karar verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Örneğin; robotların performanslarına göre sıralanması için Agrawal [24], Parkan ve Wu [25] kullanmışlardır. Bunun yanı sıra Chen [26] bir insan kaynakları birimine sistem mühendisi seçiminde, Tsaur [27], havayolu şirketlerinin servis kalitelerinin karşılaştırılmasında, Jee ve Kong [28] ise malzeme seçiminde TOPSIS’i kullanmışlardır. TOPSIS’in uygulanma şekli adım adım aşağıda gösterilmiştir:





İdeal ve Negatif İdeal çözüme uzaklıklar aşağıda verilen  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  formülleri ile bulunur.

$$S_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right]^{1/2} ; S_i^- = \left[ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

Burada;

$S_i^+$ , i. alternatiflerin ideal çözüme uzaklıklarını

$S_i^-$ , i. alternatiflerin negatif ideal çözüme uzaklıklarını göstermektedir.

**ADIM 7** :Bağıl Uzaklıkların ( $C_i$ ) Hesaplanması aşağıdaki formülle gerçekleştirilir:

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)} \quad 0 < C_i < 1 \quad (9)$$

Burada,  $C_i$  bağıl mesafedir. Daha sonra  $C_i$  değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralama yapılabilir.

### 3.2.1 Karar Destek Sistemine TOPSIS Yönteminin Entegrasyonu

Bu bölümde eleme sonrası elde edilen robotların kendi aralarında sıralanmalarında birbirinden bağımsız olan en temel 4 kriter İç v.d [20] nin çalışması referans alınarak belirlenmiş olup, bu kriterler doğrultusunda sıralama yapılmaktadır. İç v.d [20] çalışmalarında robot seçiminde kullanılabilecek kriterler arasındaki korelasyonu belirledikten sonra, sadece bağımsız olan (diğer kriterlerle korelasyonu olmayan) kriterleri ve aralarında korelasyon olan kriterlerden sadece birini seçerek bir kriter seti önermişlerdir. Bu amaçla öncelikle Şekil 15'deki ekranla kullanıcıdan bu 4 kriteri 1-10 arasında puanlaması talep edilmektedir. Ardından "SIRALA" butonuna basıldığında robotların sıralaması ekranda görüntülenmektedir.

Şekil 15 – Karar Destek Sistemi – TOPSIS

## 4. ÖRNEK UYGULAMA

Bu çalışmada uygulama olarak Şekil 16'da belirtilen ABB IRB4600 robotunu satın almış olan bir firmanın seçim kararı analiz edilecektir. Firma bu robotu kendi deneyimleri sonucu satın alma kararı almıştır.



Şekil 16 – ABB IRB 4600 robotu

Firma yetkilisinden, ihtiyaç duydukları robota ilişkin bilgileri oluşturulan KDS'deki yönlendirici soruları cevaplayarak girmesi istenmiştir (Şekil 17). Sorulara verilen cevaplara göre ön eleme sonuçları Şekil 17'dedir.

Ardından Şekil 18'deki gibi robotlar TOPSIS yöntemine aktarılmış ve kriter ağırlıkları kullanıcı tarafından girildikten sonra Şekil 19'daki sıralama elde edilmiştir.

TOPSIS sonucu elde edilen sıralamaya göre, Firmanın elinde bulunan ABB Marka IRB 4600 – 60 model endüstriyel robot 6. sırada yer almaktadır. Bunun başlıca nedenleri, seçilen diğer robotların Maksimum Yükleme Kapasitelerinin ve Uzanma Mesafesinin, ABB IRB 4600 – 60 robotundan genel olarak oldukça büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sıralamaya göre firmanın elinde bulunan ABB Marka IRB 4600 – 60 endüstriyel robotun yerine, Kuka KR360 L240-2 modeli ya da Motoman ES200D/ ES200-N modelleri önerilebilir. Geliştirilen KDS, firmanın satın aldığı model robotu önerebilmiş, aynı zamanda firma isteklerini daha iyi düzeyde karşılayabilecek alternatifleri de sunabilmiştir.

<b>Robot Tipini Seçiniz</b>	: Kaynak
<b>Bağlanma Şekli</b>	: Cevap yok (herhangi biri olabilir)
<b>İstedığınız Minimum Yükleme Kapasitesi ( kg )</b>	: 46
<b>İstedığınız Maksimum Tekrar Hassasiyeti ( mm*100)</b>	: 75
<b>İstedığınız Minimum Uzanma Mesafesi (mm)</b>	: 1750
<b>İstedğiniz Maksimum Ağırlık ( kg )</b>	: Cevap yok
<b>S Çalışma Alanı (°)</b>	: 175
<b>S Maksimum Hız (°/s)</b>	:70
<b>L Çalışma Alanı (°)</b>	:75
<b>L Maksimum Hız (°/s)</b>	:60
<b>U Çalışma Alanı (°)</b>	:50
<b>U Maksimum Hız (°/s)</b>	:60
<b>R Çalışma Alanı (°)</b>	:270
<b>R Maksimum Hız (°/s)</b>	: 60
<b>B Çalışma Alanı (°)</b>	:100
<b>B Maksimum Hız (°/s)</b>	: 75
<b>T Çalışma Alanı (°)</b>	:270
<b>T Maksimum Hız (°/s)</b>	:135
<b>Robot için Verebileceğiniz Maksimum Fiyat (\$)</b>	:130000



	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Numara	Marka	Model	Uygulaması	Bağlanması	Maksimum Yük	Tekrar Hassasiyeti	Uzanma Mesafesi	Ağırlık	Giriş Gücü	S Çalışma Alanı
1											
2	5	MOTOMAN	ES200-N	WELDING	INVERTED	200	20	2651	1230	7,5	180
3	69	KUKA	KR360L280 - 2	WELDING	INVERTED	280	15	3076	2375	10	185
4	78	MOTOMAN	ES165D	WELDING	INVERTED	165	20	3372	1100	5	180
5	79	MOTOMAN	ES200D	WELDING	INVERTED	200	20	3372	1130	5	180
6	80	MOTOMAN	MS80	WELDING	INVERTED	80	7	3397	550	4	180
7	84	ABB	IRB 4600-60	WELDING	FLOOR	60	60	2050	435	6	180
8	89	ABB	IRB 4600-60	WELDING	SHELF INVERTED	60	60	2050	435	6	180
9											
10											
11											

Şekil 17 – Yönlendirici sorulardan elde edilen robotlar

Uygulamanın devamında bu sefer kriter ağırlıkları değiştirilerek sıralama gerçekleştirilmiştir. Yükleme Kapasitesi, 2; Tekrarlama Hassasiyeti, 3; Uzanma Mesafesi, 1; ve L Maksimum Hız, 8 olarak alınıp sıralama yapıldığında Şekil 20’de görüldüğü gibi bu sefer ABB IRB 4600 – 60 robotunun ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Bu durum, sıralama sonuçlarının kriter ağırlıklarına duyarlı olduğunu göstermektedir. Burada KDS’nin kullanımında kriter ağırlıklarının işin özellikleri iyi analiz edildikten sonra belirlenmesinin çok önemli olduğu sonucu çıkmaktadır.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada endüstriyel robot seçimi için bir Karar Destek Sistemi (KDS) oluşturulmuştur. KDS’de çok kriterli karar verme yöntemlerinden

TOPSIS’i kullanarak, veri tabanından seçilen robotlar arasında bir sıralama elde edilmiştir.

Geliştirilen program, gerçek hayattan bir firmada denenmiştir. Yapılan deneme sonucu firmanın elinde bulunan robotun yanında 6 adet robot daha firmaya önerilebilmiştir. Geliştirilen KDS’de kriter ağırlıklarının değişmesi sıralama sonuçlarını değiştirmektedir. Her ne kadar kriter ağırlıkları sıralama sonuçlarında etkili olsa da, TOPSIS yönteminden önceki adımda işe uygun robotların kullanıcıya sunulabilmesi de yöntemin önemli avantajlarından biridir. TOPSIS yönteminin eleme sorularının ardından veri tabanından süzülen robot sayısının fazla olduğu durumlarda bir sıralama elde etme işleminde oldukça kullanışlı olacağı düşünülmektedir.

	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
ni	B Maksimum Hız	T Çalışma Alanı	T Maksimum Hız	Fiyat						
	110	360	240	107500						
	112	350	157	128000						
	150	360	240	112000						
	120	360	190	80000						
	230	360	350	128000						
	250	400	360	77500						
	250	400	360	77500						

Temizle

Ana Menu

TOPSIS

UserForm11

Lütfen kriterlere önem derecesine göre 1 ile 10 arasında bir değer veriniz.

Maksimum Yük

Tekrar Hassasiyeti

Uzanma Mesafesi

L Maksimum Hiz

Şekil 18. TOPSIS yöntemi uygulaması

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Siralama	Puan	Numara	Marka	Model	Uygulaması	Baglanmasi	Maksimum Yük	Tekrar Hassasiyeti	Uzanma Mesafesi
2										
3	0.674705951	3	5	MOTOMAN	ES200-N	WELDING	INVERTED	200	20	2651
4	0.810139884	1	69	KUKA	KR360L280 - 2	WELDING	INVERTED	280	15	3076
5	0.664432407	4	78	MOTOMAN	ES165D	WELDING	INVERTED	165	20	3372
6	0.699533418	2	79	MOTOMAN	ES200D	WELDING	INVERTED	200	20	3372
7	0.647500945	5	80	MOTOMAN	MS80	WELDING	INVERTED	80	7	3397
8	0.141628202	6	84	ABB	IRB 4600-60	WELDING	FLOOR	60	60	2050
9	0.141628202	6	89	ABB	IRB 4600-60	WELDING	SHELF INVERTED	60	60	2050

Şekil 19. Robot sıralamalarının elde edilmesi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Siralama	Puan	Numara	Marka	Model	Uygulaması	Baglanmasi	Maksimum Yük	Tekrar Hassasiyeti	Uzanma Mesafesi
2										
3	0.268577122	7	5	MOTOMAN	ES200-N	WELDING	INVERTED	200	20	2651
4	0.366751127	5	69	KUKA	KR360L280 - 2	WELDING	INVERTED	280	15	3076
5	0.384089684	4	78	MOTOMAN	ES165D	WELDING	INVERTED	165	20	3372
6	0.313098252	6	79	MOTOMAN	ES200D	WELDING	INVERTED	200	20	3372
7	0.553661719	3	80	MOTOMAN	MS80	WELDING	INVERTED	80	7	3397
8	0.627544977	1	84	ABB	IRB 4600-60	WELDING	FLOOR	60	60	2050
9	0.627544977	1	89	ABB	IRB 4600-60	WELDING	SHELF INVERTED	60	60	2050

Şekil 20. Ağırlıklar değiştirilerek robotların yeniden sıralanması

İleriki dönemlerde yapılacak çalışmalarda imalat sistemlerinin otomasyona dönüştürülmesinde üretim tipine uygun robotların belirlenebilmesi için KDS'ye yeni bir modül eklenebilir. Bu modülde geliştirilecek sorularla mevcut üretim sisteminin ihtiyaçları ve gelecek hedeflerine yönelik uygun robotların seçim işlemi de gerçekleştirilebilir. Gelecekte teknolojik gelişimlere paralel olarak yeni robotların veri tabanına kolaylıkla girilebilmesi; geliştirilen karar destek sisteminin uzun yıllar kullanılabilme özelliği açısından önemli avantajlarından birisidir.

## A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INDUSTRIAL ROBOT SELECTION

In this study, a decision support system is developed for industrial robot selection problem. A database has been developed considering 193 industrial robot types on the market. The decision support system asks the user about their requirements needed from robots and selects the suitable robots from the database. To find the best robot, selected robots are ranked by using TOPSIS which is commonly used in multi criteria decision making problems. The developed decision support system has

been implemented on a real life robot selection algorithm.

**Keywords:** Industrial robot, robot selection, multi criteria decision making, TOPSIS.

#### KAYNAKÇA

1. Durmuşoğlu, Semra., Köker, M. Sefa., "Türkiye'de Endüstriyel Robot kullanımı", [http://www.bilimbilmek.com/sayfa/Semra\\_Durmusoglu-Turkiyede\\_Endustriyel\\_Robot\\_Kullanimi.html](http://www.bilimbilmek.com/sayfa/Semra_Durmusoglu-Turkiyede_Endustriyel_Robot_Kullanimi.html), Temmuz 2007.
2. Khouja, M., and Offodile, O.F., The industrial robot selection problem: literature review and directions for future research, *IIE Transactions*, 26(4) (1994)50-61.
3. Goh, C.-H., Analytic Hierarchy Process for robot selection, *Journal of Manufacturing Systems*, 16(1997) 5, 381-386.
4. Braglia, M. and Petroni, A., Evaluating and selecting investments in industrial robots, *International Journal of Production Research*, 37(1999) 18, 4157- 4178.
5. Parkan, C., and Wu., M-L., Decision -making and performance measurement models with application to robot selection, *Computers and Industrial Engineering*, 36(1999) 503-523.
6. Layek, A.M., and Lars, J.R., Algorithm based decision support system for the concerted selection of equipment in machining/assembly cells, *International Journal of Production Research*, 38 (2000) 2, 323- 339.
7. Khouja, M., Booth, D. E., Suh, M., and Mahaney Jr, J. K. Statistical procedures for task assignment and robot selection in assembly cells, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 13 (2000) 2, 95-106.
8. Chu, T-C., and Lin, Y.-C., A fuzzy topsis method for robot selection, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(2003) 284–290.
9. Bhangale, P.P., Agrawal, V.P., and Saha, S.K., Attribute based specification, comparison and selection of a robot, *Mechanism and Machine Theory*, 39(2004) 1345–1366.
10. Kapoor V., and Tak, S.S. Fuzzy application to the Analytic Hierarchy Process for robot selection, *Fuzzy Optimization And Decision Making*, 4(2005) 209–234.
11. Rao, R. V., Padmanabhan, K.K., Selection, identification and comparison of industrial robots using digraph and matrix methods, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22(2006), 373–383.
12. Karsak, E. E., Robot selection using an integrated approach based on quality function deployment and fuzzy regression, *International Journal of Production Research*, 46 (2008)3, 723–738.
13. Chatterjee P., Athawale, V. M., and Chakraborty, S., Selection of industrial robot s using compromise ranking and outranking methods, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(2010), 483–489.
14. Koulouriotis, D.E., Ketipi, M.K., A fuzzy digraph method for robot evaluation and selection, *Expert Systems with Applications*, 38(2011) 11901–11910.
15. Devi, K. Extension of VIKOR method in intuitionistic fuzzy environment for robot selection, *Expert Systems with Applications*, 38(2011) 14163–14168.
16. Tao, L., Chen, Y., Liu, X., Wang, X., An integrated multiple criteria decision making model applying axiomatic fuzzy set theory, *Applied Mathematical Modelling*, 36(2012) 5046–5058.
17. Karsak, E. E., Sener, Z., Dursun, M., Robot selection using a fuzzy regression-based decision-making approach. *International Journal of Production Research*, 50(2012)23, 6826-6834.
18. Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mousavi, S. M., Ghodrathnama, A., Soft computing based on new interval-valued fuzzy modified multi-criteria decision-making method. *Applied Soft Computing*, 13(2013) 165–172.
19. Ghorabace, M.K., Developing an MCDM method for robot selection with interval type-2 fuzzy sets, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 37 (2016) 221–232
20. Ic Y.T., Yurdakul, M., Dengiz, B., Development of a decision support system for robot selection, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 29 (2013) 142–157.
21. Y,-X, You, J-X., Zhao, X., Liu, H-C., An integrated linguistic MCDM approach for robot evaluation and selection with incomplete weight information, *International Journal of Production Research*, 54(2016)18, 5452-5467.
22. Kumar, D., Datta, S., Mahapatra, S.S., Application of TODIM (Tomada de Decisión Inerativa Multicriterio) for industrial robot selection, *Benchmarking: An International Journal*, 23(2016)7, 1818-1833.
23. Breaza, R.E., Bologa, O., Racza, S.G., Selecting industrial robots for milling applications using AHP, *Procedia Computer Science*, 122 (2017) 346–353.
24. Agrawal, V.P., Kohli V., and Gupta S., Computer aided robot selection: the multi-

- attribute decision making approach, *International Journal of Production Research*, 29(1991)1629-1644.
25. Parkan Ç., Ming-Lu W., Decision -making and performance measurement models with application to robot selection, *Computers and Industrial Eng.*, 36(1999)503-523.
26. Chen, C.T., Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 114(2000)1-9.
27. Tsaur,S., H., Chang T.Y., Yen C.H. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM, *Tourism Management*, 23(2002)107-115.
28. Jee D.H., Kong K.J., A method for optimal material selection aided with decision making theory, *Materials and Design*, 21(2000)199-206.