

استفاده از مدل تصمیم گیری چند شاخصه ای TOPSIS در انتخاب روبات های صنعتی

رضا دویران REZA_DAVIRAN@YAHOO.COM

AHMAD_SHEKAR2@HOTMAIL.COM

دکتر احمد شکرچی زاده اصفهانی

چکیده

انتخاب روبات صنعتی برای یک برنامه مهندسی خاص ، یکی از چالش برانگیزترین مسائل در محیط تولید واقعی می باشد. این مساله در سال های اخیر با توجه به افزایش پیچیدگی، ویژگی های در دسترس و امکانات ارائه شده توسط محصولات مختلف روباتیکی، بیشتر احساس می شود. تصمیم گیرنده، نیاز به این دارد که مناسب ترین روبات های صنعتی به منظور دستیابی به خروجی مورد نظر، با کمترین هزینه و توانایی کاربرد خاص را انتخاب نماید.

بررسی های انجام شده نشان می دهد که تاکنون تحقیقات قابل توجهی درباره استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چند شاخصه ای در زمینه انتخاب مناسب ترین روبات برای کاربرد صنعتی انجام نگرفته است. اما به طور مجزا تحقیقاتی در زمینه شناسایی معیارها و انتخاب روبات انجام شده است. تحقیق حاضر با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند شاخصه ای^۱ TOPSIS سعی در ارائه راهبردی بهینه برای شرکت های صنعتی در انتخاب روبات های مناسب برای کاربردهای خاص دارد.

Abstract

Selection of an industrial robot for a specific engineering application is one of the most challenging problems in real time manufacturing environment. This has become more and more complicated due to increasing complexity, advanced features and facilities that are continuously being incorporated into the robots by different manufacturers. The decision maker needs to select the most suitable industrial robot in order to achieve the desired output with minimum cost and specific application ability.

Studies show that no Performed significant research about the use of MADM techniques in selecting the most suitable robot for industrial applications, But separate researches performed on the identification criteria and robot selection. Present study using a multi-criteria decision making techniques (TOPSIS) to provide an optimal strategy for Industrial companies in order to select suitable robots for specific applications.

کلید واژه ها: مدل های تصمیم گیری ، معیار تصمیم گیری چند شاخصه ای، روبات صنعتی^۲، TOPSIS.

^۱ .Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution method

^۲ .Industrial Robot

مقدمه:

روبات‌ها امروزه برای مقاصد و مصارف مختلفی به کار گرفته می‌شوند. استفاده‌های اصلی از روبات‌ها را در دو دسته‌ی اصلی می‌توان جای داد. کارهایی که روبات‌ها آنها را بهتر از انسان‌ها انجام می‌دهند. در چنین مواردی، روبات‌ها باعث افزایش بهره‌وری، صحت و دقت انجام کار و پایداری نتیجه می‌شوند. دسته‌ی دوم، کارهایی هستند که انسان‌ها بهتر از روبات‌ها انجام می‌دهند اما نیاز است که برای دلایل و اهداف خاصی، انسان‌ها فرآیند انجام کار حذف شود تا مکانیزاسیون به شکلی واقعی عملی گردد. در چنین مواردی، روبات‌ها می‌توانند ما را از انجام کارهای سخت، خطرناک و طاقت‌فرسا بی‌نیاز سازند. مشاغلی که نیاز به سرعت، دقت، اطمینان و ثبات دارند می‌توانند به راحتی توسط یک روبات انجام شوند به صورتی که نتیجه کار او با کیفیت‌تر از انسان باشد. برای مثال بسیاری از کارهایی که به صورت سنتی در کارخانه‌ها با دست انجام می‌شدند، حالا دیگر روباتیک شده‌اند. این امر باعث می‌شود تا بتوان قیمت‌نهایی محصولات را کاهش داد که از مهم‌ترین آنها می‌توان خودروها و قطعات الکترونیک را نام برد. اما در مورد کارهایی که قابلیت دستی انسان‌ها برای انجام آنها، بهتر و کارآمدتر است، برای دلایل خاصی، استفاده از ماشین‌ها و روبات‌ها ترجیح داده می‌شود. این کارها می‌توانند برای انسان‌ها زیان‌آور، سخت، خسته‌کننده، دشوار و حتی خطرناک باشند. از جمله‌ی آنها می‌توان به جوشکاری در محیط‌های خطرناک و نگهداری و نظافت حیوانات خانگی اشاره کرد. این کار در حال حاضر به روبات‌ها سپرده شده است. جست‌وجو و کاوش در درون آتش‌فشان‌ها نیز از این جمله است.

اگرچه تاکنون کارهای تحقیقاتی خوبی در زمینه حل مساله انتخاب روبات صنعتی با استفاده از روش‌های مختلف ریاضی صورت گرفته، ولی به حل این مساله با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره، توجه چندانی نشده است. این پژوهش عمدتاً بر عملکرد نسبی روش شناخته شده تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ای TOPSIS^۳، با توجه به رتبه‌بندی‌های بدست آمده از روبات جایگزین برای عملیات گذاشتن _ برداشتن^۳ قطعات تمرکز دارد [1].

پیشینه تحقیق:

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد تاکنون تحقیقاتی در زمینه شناسایی معیارها و انتخاب روبات انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

ونگ و همکاران (Wang et al, 2000)، برای انتخاب ماشین در تولید انعطاف پذیر از روش منطق فازی در رویکرد MADM استفاده نمودند [2]. چو و لین (Cho, Lin, 2003)، برای مساله انتخاب روبات از متد Fuzzy Topsis استفاده نمودند [3]. بنگل و همکاران (Bhangale et al, 2004)، مساله انتخاب روبات را با استفاده از تکنیک نزدیکی به راه حل ایده آل و روش‌های گرافیکی بررسی نموده و به مقایسه و رتبه‌بندی روبات‌های کاندید تعیین شده با این دو روش پرداختند [1]. رائو و پادمانابان (Rao, Padmanabhan, 2006)، با بکارگیری روش گراف جهتدار و ماتریس، اقدام به ارزیابی و رتبه‌بندی روبات جایگزین برای یک فرآیند صنعتی، با استفاده از ضرایب تشابه و تفاوت نمودند [4]. قهرمان و

^۳ .Pick-N-Place

همکاران (Kahraman et al, 2007)، از روش سلسله مراتبی Fuzzy Topsis برای حل مساله روبات چند صفتی استفاده نمودند [5]. کرسک (Karsak, 2008)، یک مدل تصمیم گیری برای انتخاب روبات بر اساس توسعه مولفه کیفیت (QFD) و روش رگرسیون خطی فازی برای کاربرد یکپارچه سازی خواسته های کاربر با ویژگی های فنی روبات ها معرفی نمود [6]. شای (Shih, 2008)، یک روش تجزیه و تحلیل افزایشی برای انتخاب روبات های صنعتی پیشنهاد نمود [7]. چاترجی و همکاران (Chatterjee et al, 2010)، از روش های Electre و Vikor برای انتخاب روبات در انجام فرآیند های خاص استفاده نمودند [8].

تصمیم گیری چند معیاره

همه ما در زندگی فردی و سازمانی خود، آگاهانه و ناآگاهانه، تصمیمات مختلفی اتخاذ می کنیم. یکی از دلایل موفقیت افراد و سازمان ها، اتخاذ تصمیمات مناسب و منطقی است. بدیهی است استفاده از روش های علمی انسان را در این زمینه یاری می کند.

به طور معمول، در هر مساله تصمیم یک یا چند معیار تصمیم گیری نظیر سود، هزینه، مطلوبیت و عدم مطلوبیت مدنظر است. اگر مساله مورد تصمیم گیری تنها در صدد بهینه سازی یک هدف یا معیار باشد آن را تک معیاره گویند ولی اگر بیش از یک معیار، مورد نظر تصمیم گیرنده باشد آن را یک مساله تصمیم گیری چند معیاره ^۴MCDM گویند. روش تصمیم گیری چند معیاره شامل یک سری از تکنیک ها است که اجازه می دهد، طیفی از معیارهای وابسته به یک موضوع امتیازدهی و وزن دهی شده و سپس بوسیله کارشناسان و گروه های ذینفع رتبه بندی شوند.

"تصمیم گیری چند معیاره" به دو گروه "چند منظوره" و "چند شاخصه" تقسیم می شود. در این پژوهش از روش های تصمیم گیری چند شاخصه ای برای اتخاذ تصمیم استفاده شده است.

مدل تصمیم گیری چند شاخصه ای (MADM)

MADM در سال ۱۹۵۷ توسط چرچمن^۵، اکاف^۶ و آرنوف^۷ مطرح شد. هدف تصمیم گیری چند شاخصه ارائه کمک و راهنمایی به تصمیم گیرندگان در دسترسی به مطلوب ترین جواب برای حل مسائل است. مدل های MADM شناخته شده ترین شاخه تصمیم گیری ها است. اگر در یک مساله تصمیم بیش از یک معیار تصمیم گیری ملاک عمل باشد و معیارها به صورت گسسته تعریف شده باشند (کمی یا کیفی)، مدل تصمیم از نوع چند شاخصه ای است. این مدلها دارای تنوع تکنیکی بسیار گسترده ای هستند.

مدل چند شاخصه (MADM) به صورت ماتریس تصمیم گیری زیر فرموله می گردد:

^۴ . Multi-Criteria Decision Making

^۵ .Churchman

^۶ .Ackoff

^۷ .Arnoff

شاخص \ گزینه	X_1	X_2	...	X_n
A_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2n}
...	...	...	...	...
A_m	r_{m1}	r_{m2}	...	r_{mn}

به طوری که A_i نشان دهنده گزینه i ام، X_j نشان دهنده شاخص j ام و r_{ij} نشان دهنده ارزش شاخص j ام برای گزینه i ام است.

اگرچه متدهای MADM دارای تنوع تکنیکی گسترده ای هستند، با این حال این تکنیک ها دارای جنبه های مشترک خاص هستند مانند وجود گزینه ها، شاخص های چند گانه، تعارض در بین شاخص ها، واحدهای اندازه گیری نا همگون، وزن معیارهای تصمیم و ماتریس تصمیم. که در زیر به معرفی آنها می پردازیم:

گزینه ها : در این مسائل تعداد مشخصی گزینه مورد بررسی قرار می گیرند و در مورد آنها انتخاب و یا رتبه بندی صورت می پذیرد. تعداد گزینه های مورد نظر می تواند محدود و یا خیلی زیاد باشند.

شاخص های چندگانه: هر مساله تصمیم گیری چند شاخصه، چندین شاخص دارد که تصمیم گیرنده باید در مساله آن ها را کاملاً مشخص کند. تعداد شاخص ها بستگی به ماهیت مساله تصمیم دارد.

واحدهای بی مقیاس: هر شاخص نسبت به شاخص دیگر دارای مقیاس اندازه گیری متفاوتی است. لذا جهت معنادار شدن محاسبات و نتایج از طریق روش های علمی اقدام به بی مقیاس کردن داده ها می شود، به گونه ای که اهمیت نسبی داده ها حفظ گردد. مهم ترین روش های ریاضی بی مقیاس سازی داده ها در فنون تصمیم گیری چند شاخصه ای استفاده از نرم های خطی، ساعتی و اقلیدسی است.

وزن شاخص ها: وزن هر یک از شاخص ها باید به منظور انعکاس میزان اهمیت آن در راستای کل مسئله تصمیم گیری تعیین گردد در واقع این وزن ها اهمیت نسبی هر شاخص را بیان می کنند. اوزان تخصیص یافته به معیارها (n معیار داریم) که اهمیت نسبی هریک از آنها را نشان می دهند به صورت بردار W نمایش داده می شوند، بدین صورت:

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$$

تعیین وزن هریک از معیارها

وزن، اهمیت نسبی هر شاخص را بیان می کنند. در اکثر مسائل MADM نیاز به داشتن اهمیت نسبی شاخص ها که نرمال شده اند وجود دارد. وزن های مربوط به شاخص ها می تواند مستقیماً توسط تصمیم گیرنده و یا به کمک

روش های علمی موجود به معیارها تخصیص داده شود. در این پژوهش برای تعیین وزن از روش آنتروپی شانون استفاده شده است.

معرفی تکنیک اجرایی تحقیق

در ادامه به معرفی روش تصمیم گیری TOPSIS چند شاخصه ای می پردازیم. روش TOPSIS در سال ۱۹۸۱ توسط هوآنگ و یون ارائه گردید که در آن m گزینه با توجه به n معیار رتبه بندی می شود. اساس این روش انتخاب گزینه ای است که کمترین فاصله را از جواب ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده آل منفی دارد. حل یک مساله به روش TOPSIS شامل ۶ مرحله به شرح زیر می باشد:

۱- تبدیل ماتریس تصمیم گیری موجود به یک ماتریس بی مقیاس شده با استفاده از فرمول زیر صورت می گیرد.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

۲- ایجاد ماتریس بی مقیاس وزین (V)، با مفروض بودن بردار W به عنوان ورودی به الگوریتم. یعنی:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \approx DM \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$V = N_D \cdot W_{n \times n} = \text{ماتریس بی مقیاس وزین} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳- مشخص نمودن راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی:

رابطه (۴): گزینه ایده آل مثبت:

$$V^+ = \{(\max_i V_{ij} | j \in J), (\min_i V_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

رابطه (۵): گزینه ایده آل منفی:

$$V^- = \{(\min_i V_{ij} | j \in J), (\max_i V_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

۴- محاسبه اندازه جدائی (فاصله)

فاصله گزینه i ام با ایده آل ها با استفاده از روش اقلیدسی بدین قرار است:

$$S_i^+ = \text{فاصله گزینه } i \text{ ام از ایده آل مثبت} = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$S_i^- = \text{فاصله گزینه } i \text{ ام از ایده آل منفی} = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{0.5}; i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۷)}$$

۵- محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده آل. شاخص نزدیکی نسبی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)}; 0 \leq C_i^+ \leq 1; i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه (۸)}$$

هر اندازه گزینه A_i به راه حل ایده آل (V^+) نزدیک تر باشد، ارزش C_i^+ به واحد نزدیک تر خواهد بود.

۶- رتبه بندی گزینه ها. براساس ترتیب نزولی C_i^+ می‌توان گزینه های موجود از مساله مفروض را براساس بیشترین اهمیت رتبه بندی نمود.

شناسایی و وزن دهی معیارهای انتخاب سهام

در این تحقیق (Bhangale و همکاران، ۲۰۰۴)، انتخاب مناسب ترین روبات صنعتی برای برخی از عملیات گذاشتن _ برداشتن قطعات با عبور از موانع خاص بررسی می شود. عملکرد یک روبات صنعتی اغلب با استفاده از ویژگی های مختلف مشخص می گردد. قابلیت تکرارپذیری^۸، دقت^۹، ظرفیت بار^{۱۰}، ظرفیت حافظه^{۱۱}، برد کنترل شده^{۱۲} و سرعت^{۱۳} به عنوان مهم ترین ویژگی های موثر بر تصمیم گیری در انتخاب روبات در نظر گرفته می شوند. قابلیت تکرار، توانایی یک روبات در تکرار رفتن به یک موقعیت مشخص با دقت تعریف شده در دفعات مکرر می باشد و دقت روبات، توانایی روبات در رفتن به یک موقعیت مشخص شده بدون داشتن خطاست. رفتن به موقعیت

⁸ .Repeatability

⁹ .Accuracy

¹⁰ .Load Capacity

¹¹ .Memory Capacity

¹² .Manipulator Reach

¹³ .Velocity

مشخص شده بطور دقیق و بدون خطا برای همه روبات‌ها غیر ممکن است. پس می‌توان گفت که مقدار دقت روبات بعنوان حداقل خطایی است که روبات نسبت به نقطه مشخص شده قرار می‌گیرد و هر چه به صفر نزدیک تر باشد بهتر است. قابلیت تکرار و دقت روبات دو مقوله جدا از هم هستند و ممکن است روباتی دقت خوبی نداشته باشد ولی تکرار پذیری خوبی داشته باشد و برعکس. دقت یک مقدار مطلق بوده و تکرار پذیری یک مقدار نسبی است. ظرفیت بار حداکثر باری است که یک روبات می‌تواند بدون تاثیر بر عملکرد آن حمل نماید. حداکثر سرعت نوک^{۱۴} سرعتی است که یک روبات می‌تواند نسبت به یک نقطه ثابت داشته باشد. ظرفیت حافظه یک روبات، تعداد نقاط یا گام‌هایی است که می‌تواند به هنگام عبور در امتداد یک مسیر از پیش تعریف شده در حافظه خود ذخیره کند. دسترسی کنترل شده، حداکثر فاصله ای است که می‌تواند توسط بازوهای مکانیکی پوشش داده شود به طوری که روبات در نظر گرفته شده برای فرآیند گذاشتن برداشتن قطعات بتواند اجسام را با چنگ^{۱۵} بگیرد.

در این مقاله از نتایج تحقیق (Bhangale و همکاران، ۲۰۰۴) در تعیین وزن نسبی معیارها استفاده شده است. آنها از پنج ویژگی مختلف ظرفیت بار (LC)، تکرار (RE)، حداکثر سرعت نوک (MTS)، ظرفیت حافظه (MC) و دسترسی کنترل شده (MR) برای انتخاب روبات استفاده نمودند، که ویژگی‌های ظرفیت بار، حداکثر سرعت نوک، ظرفیت حافظه و دسترسی کنترل شده بعنوان ویژگی‌های مفید، و ویژگی تکرارپذیری یک ویژگی غیر مفید می‌باشد. در ویژگی‌های مفید مقادیر عددی بزرگ تر بعنوان مقدار مطلوب و در ویژگی‌های غیر مفید مقادیر عددی کوچک تر بعنوان مقدار مطلوب محسوب می‌شود. بنابراین، مساله انتخاب روبات‌های صنعتی مطابق آنچه در جدول ۱ با عنوان ماتریس تصمیم‌گیری آمده، متشکل از پنج شاخص و هفت روبات جایگزین خواهد بود.

جدول ۱: ماتریس تصمیم‌گیری تحقیق

ردیف	روبات	LR (kg)	RE (mm)	MTS (mm/s)	MC	MR (mm)
1	ASEA-IRB 60/2	60	0.40	2540	500	990
2	Cincinnati Milacron T3-726	6.35	0.15	1016	3000	1041
3	Cybotech V15 Electric Robot	6.8	0.10	1727.2	1500	1676
4	Hitachi America Process Robot	10	0.20	1000	2000	965
5	Unimation PUMA 500/600	2.5	0.10	560	500	915
6	United States Robots Maker 110	4.5	0.08	1016	350	508
7	Yaskawa Electric Motoman L3C	3	0.10	177	1000	920

14 .Maximum Tip Speed

15 .Grasp

Bhangale و همکارانش (2004) وزن هر یک از شاخص‌ها را با استفاده از روش AHP محاسبه نمودند که مقادیر آنها در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲: وزن نسبی شاخص‌ها

شاخص‌های ساله	LC	RE	MTS	MC	MR
وزن نسبی شاخص (W_i)	0.1761	0.2042	0.2668	0.2430	0.2286

مأخذ: محاسبات تحقیق

طراحی مدل

در روش TOPSIS، از ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه موزون استفاده می‌شود، که این ماتریس با استفاده از رابطه (۳) محاسبه و در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه

روبات	LR (kg)	RE (mm)	MTS (mm/s)	MC	MR (mm)
1	0.1528	0.1435	0.1516	0.0264	0.0727
2	0.0162	0.0538	0.0606	0.1586	0.0764
3	0.0173	0.0359	0.1031	0.0793	0.1231
4	0.0255	0.0717	0.0597	0.1058	0.0709
5	0.0064	0.0359	0.0334	0.0264	0.0672
6	0.0115	0.0287	0.0606	0.0185	0.0373
7	0.0076	0.0359	0.1061	0.0529	0.0675

حال، با استفاده از روابط (4) و (5) راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی به ترتیب محاسبه و در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی

V^+	0.1528	0.0287	0.1516	0.1586	0.1231
V^-	0.0064	0.1435	0.0334	0.0185	0.0373

در این مرحله با استفاده از روابط (۶) و (۷) اندازه جدایی (فاصله) هر روبات جایگزین از راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی محاسبه می شود، که نتایج حاصل در جدول ۵ قابل مشاهده می باشد.

جدول ۵: فاصله هر روبات از راه حل ایده آل مثبت و منفی

روبات	1	2	3	4	5	6	7
S_i^+	0.1822	0.1724	0.1645	0.1790	0.2367	0.2350	0.1935
S_i^-	0.1916	0.1733	0.1661	0.1222	0.1120	0.1181	0.1377

در نهایت، مقادیر نزدیکی نسبی روبات های کاندید نسبت به راه حل های ایده آل با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شد که نتایج محاسبات به رتبه بندی این روبات ها مطابق جدول ۶ منجر گردید. بدین صورت که روبات شماره ۱ (ASEA-IRB 60/2) در رتبه اول، روبات شماره ۳ (Cybotech V15 Electric Robot) در رتبه دوم، روبات شماره ۲ (Cincinnati Milacron T3-726) در رتبه سوم و روبات های ۴ تا ۷ بترتیب در رتبه های ۵، ۶ و ۷ و ۴ جای گرفتند.

جدول ۶: مقادیر نزدیکی نسبی

روبات	1	2	3	4	5	6	7
C_i^+	0.5126	0.5013	0.5026	0.4058	0.3211	0.3344	0.4157

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به اینکه که در تحقیق حاضر معیارهای موثر برای انتخاب روبات، ظرفیت بار (LC)، تکرارپذیری (RE)، حداکثر سرعت نوک (MTS)، ظرفیت حافظه (MC) و دسترسی کنترل شده (MR) در نظر گرفته شده بود، براساس تحقیقات انجام شده، سرعت نوک، ظرفیت حافظه و دسترسی کنترل شده دارای بیشترین وزن و میزان اهمیت هستند پس لازم است که فعالان در زمینه روباتیک به هنگام خرید روبات از نوع Pick_N_Place به این سه معیار توجه بیشتری داشته باشند.

برای اولویت بندی روبات های صنعتی مورد مطالعه از روش TOPSIS استفاده کردیم که با استفاده از این روش، اولویت نهایی برای انتخاب مناسب ترین روبات در جدول (۶) مشخص شده است.

در پایان و براساس نتایج حاصل از این پژوهش می توان تحقیق حاصل را در موارد زیر توسعه داد:

- استفاده از سایر روش های MADM، مطالعاتی برای تعیین و اولویت بندی شاخص های مستقل موثر در انتخاب روبات های صنعتی.
- استفاده از این تکنیک برای رتبه بندی انواع روبات های مورد استفاده در صنعت.

منابع و مأخذ:



1. Bhangale P P, Agrawal V P and Saha S K, 2004, "Attribute based Specification, Comparison and Selection of a Robot", Mechanism and Machine Theory, 39, 1345-1366.
2. T.-Y. Wang, C.-F. Shaw, Y.-L. Chen.(2000), Machine selection in flexible manufacturing cell: a fuzzy multiple attribute decision-making approach, Springer-Verlag, Germany.
3. Chu, T.C. and Lin, Y.C. (2003) A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21, 284-290.
4. Rao R V and Padmanabhan K K, 2006, "Selection, Identification and Comparison of Industrial Robots using Digraph and Matrix Methods", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22, 373-383.
5. Kahraman C, Çevik S, Ates N Y and Gülbay M, 2007 "Fuzzy Multi-criteria Evaluation of Industrial Robotic Systems", Computers & Industrial Engineering, 52, 414-433.
6. Karsak E E, 2008, "Robot Selection using an Integrated Approach based on Quality Function Deployment and Fuzzy Regression", International Journal of Production Research, 46, 723-738.
7. Shih H.S. (2008) Incremental analysis for MCDM with an application to group TOPSIS, European Journal of Operational Research, 186, 720-734.
8. Prasenjit Chatterjee, P., Athawale, V.M. and Chakraborty, S. (2010) Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 26, 483-489.