

# ارائه مدلی برای اولویت‌بندی و گزینش ربات‌ها در خطوط تولیدی پیوسته با بهره‌گیری از روش مالتی مورای خاکستری<sup>۱</sup>

احمد رضا قاسمی  
میثم شهبازی  
حمیدرضا آقاشاهی

## چکیده

تعداد مدل‌ها و برندهای ربات، تکثیر شاخص‌هایی که برای انتخاب یک ربات مطرح است و نیز هزینه بسیار بالای انتخاب ربات نامناسب، توجه مناسبی برای بهره‌گیری از یک مدل تصمیم‌گیری قوی بمنظور انتخاب و ارزیابی ربات‌ها است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی شاخص‌های کلیدی و با اهمیت در گزینش ربات‌ها و همچنین ارائه یک مدل تصمیم‌گیری کارآمد برای انتخاب ربات انجام شده است. بدین منظور، در گام نخست شاخص‌های مؤثر در انتخاب ربات با استفاده از نظر خبرگان شناسایی شده و همچنین ۵ ربات پرکاربرد در شرکت خودروسازی «ایران خودرو» بعنوان گزینه‌های اولویت‌بندی مشخص شدند. با بررسی نتایج پرسشنامه‌ها، وزن هر شاخص با روش آنتروپی خاکستری محاسبه شد و شاخص «آموزش فروشنده» و «کیفیت خدمات فروشنده‌گان» بعنوان مهم‌ترین شاخص‌ها در انتخاب ربات صنعتی و شاخص «درجه آزادی» و «دقت» کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌ها در مسئله انتخاب ربات شناخته شدند. همچنین با استفاده از تجمیع نتایج هر سه رویکرد روش مورای ربات «کوکا» اولویت اول و ربات «ای بی بی» و «موتومن» و «فانوک» اولویت‌های دوم تا چهارم و ربات «هیوندای» در اولویت آخر قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، ربات صنعتی، مورای خاکستری، مالتی مورای.

## مقدمه

صنایع تولیدی بزرگ برای تولید انبوه و بالا بردن دقت ساخت و افزایش کیفیت و کاهش تغییرپذیری محصولات، جبران نبود نیروی کار کافی، افزایش تنوع و کاهش زمان آماده‌سازی خطوط دستگاه‌ها و ..، نیازمند به کارگیری ربات‌ها هستند. تعدد برندهای تولید کننده در کنار توجه به این موضوع که انتخاب ربات نامناسب هزینه بسیاری را به خریدار تحمیل می‌کند از جمله مشکلات پیش روی شرکت‌های تولیدی است.

برای انتخاب ربات مناسب شاخص‌های متعددی حائز اهمیت هستند، از این رو مسئله انتخاب ربات را به مسئله‌ای بسیار پراهمیت و پیچیده مبدل ساخته و این موضوع مستلزم ارائه مدلی قوی و کارآمد است. هدف از پژوهش حاضر، شناسایی شاخص‌های کلیدی و با اهمیت در گزینش ربات‌ها و ارائه مدلی برای تسهیل تصمیم‌گیری در خصوص اولویت‌بندی ربات‌های صنعتی است. در این پژوهش مدلی ارائه می‌شود که با استفاده از نظریه مجموعه اعداد خاکستری همراه با تکنیک مالتی مور، ربات‌ها را اولویت‌بندی کند و به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا بتوانند بهترین و مناسب‌ترین ربات را برای راه‌اندازی خطوط تولیدی جدید یا جایگزینی ربات‌های جدید با ربات‌های قدیمی در خطوط تولید قدیمی انتخاب کنند.

در این پژوهش با استفاده از پژوهش‌های مرتبط با موضوع انتخاب ربات، بیش از ۴۰ شاخص تأثیرگذار در امر انتخاب ربات شناسایی و در اختیار خبرگان قرار گرفت و خبرگان ۱۰ شاخص بااهمیت‌تر را بعنوان شاخص اصلی انتخاب کردند. این شاخص‌ها همراه با ۵ برند رباتی که تصمیم به اولویت‌بندی آن‌ها گرفته شده است در کنار هم و در قالب جدولی در اختیار خبرگان قرار گرفت و خبرگان نظرات خود را در مورد میزان دستیابی هر ربات به هر کدام از شاخص‌ها بیان کردند، سپس پاسخ‌های کیفی به اعداد خاکستری متناظر آن‌ها تبدیل و داده‌های خام این پژوهش شکل گرفت و سپس، از پاسخ‌های خبرگان در مورد هر ربات میانگین خاکستری گرفته شد و ماتریس خاکستری

میانگین پاسخ‌ها تشکیل شد و سپس این ماتریس نرمال شد. با استفاده از روش آنتروپی خاکستری ابتدا وزن خاکستری هر شاخص محاسبه و سپس با ضرب خاکستری وزن هر شاخص در درایه‌های مربوط به آن شاخص در ماتریس نرمال شده، ماتریس نرمال شده موزون تشکیل شد. در انتها با استفاده از ماتریس نرمال شده موزون با هر سه رویکرد روش مورای خاکستری ربات‌ها اولویت‌بندی شد و نتایج رویکردها با هم مقایسه و جوابی که به هر سه رویکرد نزدیک‌تر باشد بعنوان اولویت‌بندی نهایی مطرح شد.

### پیشینه پژوهش

در این پژوهش برای اولویت‌بندی ربات‌ها از روش مورای خاکستری استفاده شده است چرا که در مسئله تصمیم‌گیری در مورد ربات، به علت عدم قطعیت ذاتی داده‌های مربوط به شاخص‌های ارزیابی، تصمیم‌گیری مبتنی بر منطق فازی یا خاکستری است اما با توجه به این که منطق فازی نیازمند استخراج تابع عضویت است و در مسئله انتخاب ربات تعداد خبرگان کم و تجربه خبرگان به اندازه کافی بالا نیست، بنابراین استفاده از منطق خاکستری نسبت به منطق فازی معقول‌تر است. همچنین برای اولویت‌بندی ربات‌ها از روش مورای استفاده شده است چرا که نسبت به روش‌های دیگر جدیدتر است و بیشتر روش‌هایی که برای مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شود به شدت تحت تأثیر وزن‌ها و نرمال‌سازی هستند و بیشتر این روش‌ها از لحاظ محاسبات ریاضی پیچیده و زمان محاسبه طولانی دارند. در حالی که روش مورای به لحاظ سادگی بسیار ساده و زمان محاسبه کمی دارد و در عین حال جواب‌های آن بسیار با ثبات است. برخی از روابط پرکاربرد بین دو عدد خاکستری به شرح زیر است:

$$\otimes_1 \in [a, b], \otimes_2 \in [c, d] \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\otimes_1 + \otimes_2 = [a + b, c + d]$$

$$\otimes_1 - \otimes_2 = \otimes_1 + (-\otimes_2) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\otimes^{-1} \in \left[ \frac{1}{b}, \frac{1}{a} \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\otimes_1 * \otimes_2 = [\min\{ac, ad, bc, bd\}, \max\{ac, ad, bc, bd\}] \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\otimes_1 / \otimes_2 = \otimes_1 \times (\otimes_2^{-1}) \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\otimes_1 / \otimes_2 = [\min \{a/c, a/d, b/c, b/d\}, \max \{a/c, a/d, b/c, b/d\}]; cd > 0 \quad \text{رابطه ۶}$$

$$K \times \otimes_1 \in [ka, kb]; k \in \mathbb{R}^+ \quad \text{رابطه ۷}$$

$$K \times \otimes_1 \in [-ka, -kb]; k \in \mathbb{R}^- \quad \text{رابطه ۸}$$

### ارزش سفید (قطعی)

ارزش سفید یک بازه عدد خاکستری،  $\otimes X$ ، یک عدد قطعی با ارزش دروغینی بین حد بالا و پایین بازه عدد خاکستری  $X$  است. برای یک داده عدد خاکستری بصورت  $\otimes X$   $[X \bar{X}]$  = ارزش سفید (حقیقی) می تواند بصورت زیر نشان داده شود (کیم، جونگ، لیو و شانگ، ۲۰۱۲).

$$X_{(\lambda)} = \lambda \underline{X} + (1 - \lambda) \bar{X} \quad \text{رابطه ۹}$$

### پیشینه استفاده از روش مورا

در سال ۲۰۱۴ اتری و گرویر از مورا برای مسئله‌ی تصمیم‌گیری در طول چرخه فعال سیستم تولید استفاده کردند. در سال ۲۰۱۳ گرنر و همکارانش از مورا در انتخاب مناسب‌ترین محل تأسیس شعب بانک استفاده کردند. در سال ۲۰۱۲ کارانده و چاکرابورتی از روش مورا برای مسئله انتخاب مواد استفاده کردند. در سال ۲۰۱۲ استانوچکیک و همکارانش به گسترش روش مورا برای استفاده آن از داده‌های بازه‌ای پرداختند. در سال ۲۰۱۰ گدخ، از مورا برای بهینه‌سازی پارامتریک از فرایند تراشکاری استفاده کرد. زاوادمکاس و برویرز در سال ۲۰۰۹ و برویرز و همکاران در سال ۲۰۰۸ از روش مورا برای ارزیابی پیمانکاران در بخش تسهیلات استفاده کردند. گینوسیوس و برابیرز در سال ۲۰۰۹ از روش مورا برای تعریف سیاست‌های اقتصادی برای توسعه متعادل منطقه‌ای در لیتوانی استفاده کردند (استوکیک و همکاران، ۲۰۱۱).

### روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از حیث هدف، «کاربردی» و از حیث شیوه گردآوری داده‌ها،

ارائه مدلی برای اولویت‌بندی و گزینش ربات‌ها در خطوط تولیدی پیوسته با بهره‌گیری از روش ماتری مورای خاکستری // ۱۵۱

«پیمایشی» و از حیث مقطع زمانی، «تک مقطعی» و «گذشته‌نگر» است و از حیث روش تحلیل این پژوهش، تصمیم‌گیری چند شاخصه است که با استفاده از سه رویکرد، «سیستم نسبت» و «ضربی کامل» و «نقطه مرجع» به اولویت‌بندی ربات‌ها می‌پردازد که دو رویکرد اول جبرانی و رویکرد سوم غیرجبرانی است.

هدف اصلی از پژوهش حاضر ارائه مدلی کارآمد جهت اولویت‌بندی و انتخاب ربات‌های صنعتی است. جهت نیل به هدف فوق، اهداف فرعی زیر در نظر گرفته شده است.

۱. شناسایی شاخص‌های تأثیرگذار بر انتخاب ربات صنعتی
۲. شناسایی بهترین برند ربات‌های صنعتی با توجه به شاخص‌های مؤثر بازاریابی
۳. اولویت‌بندی ربات‌ها به کمک مورای خاکستری
۴. بررسی نتایج بدست آمده با عملکرد گذشته شرکت «آیا اولویت انتخاب ربات‌ها در خریدهای جدید رعایت شده است؟»

پرسش‌های اصلی پژوهش به شرح ذیل هستند:

۱. چه شاخص‌هایی در انتخاب ربات در صنایع خودروسازی دخیل هستند؟
  ۲. میزان اهمیت هر یک از معیارها چقدر است؟
  ۳. رتبه‌بندی ربات‌های خط تولید با روش Grey MULTIMOORA به چه ترتیب است؟
- جامعه آماری این پژوهش خبرگان ربات در شرکت ایران خودرو هستند که به لحاظ تجربی، آشنایی کامل با برندهای متفاوت ربات و کارکرد آن‌ها را دارند که حدود ۳۰ نفر تخمین زده شده‌اند. با توجه به مشخص و محدود بودن این خبرگان، نیازی به استفاده از روش تحلیل و استنباط آماری نیست و صرفاً با استفاده از میانگین نظرات به تصمیم‌گیری پرداخته می‌شود. روش نمونه‌گیری در این پژوهش، استراتژی غیرتصادفی و در دسترس است.

مرسوم است که ۵ تا ۱۵ خبره در تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی ربات‌ها شرکت داشته باشند؛ در این پژوهش تعداد خبره در دسترس ۱۰ نفر انتخاب شد و این ۱۰ نفر در ۵ گروه ۲ نفر که هر گروه متشکل از یک خبره بازرگانی و یک خبره فنی است قرار داده

شدند. با توجه به تعداد کم خبرگان و در نتیجه تأثیر گذاری زیاد پاسخ‌ها در تصمیم‌گیری، حداقل شرایطی برای پاسخ‌گویی به پرسشنامه در نظر گرفته شده است که به‌قرار زیر است.

۱. رشته‌ی تحصیلی مرتبط ۲. تجربه کار کردن با برندهای متفاوت ربات ۳. حداقل ۵ سال سابقه کاری.

در این پژوهش به‌منظور تدوین چهارچوب نظری پژوهش، از مقالات، کتب، پایان‌نامه‌های مرتبط و پایگاه‌های معتبر علمی استفاده شده است و همچنین جهت گردآوری داده‌های مورد نیاز برای ورودی مدل تصمیم‌گیری از پرسشنامه استفاده شده که در اختیار خبرگان صنعت خودروسازی قرار گرفته است. بدین جهت، روش گردآوری داده‌ها در این پژوهش هم کتابخانه‌ای و هم میدانی است و ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه است.

در خصوص روایی پرسشنامه می‌توان گفت پرسشنامه‌ای روا خوانده می‌شود که برای اندازه‌گیری آنچه برای آن طراحی شده است مناسب باشد. پرسشنامه این پژوهش با رجوع به خبرگان آماده شده است و بر این اساس روایی محتوا (صوری) آن مورد تأیید خبرگان قرار دارد. پایایی پرسشنامه به دقت آن اشاره دارد. یک پرسشنامه در صورتی دارای پایایی است که اگر در یک فاصله زمانی کوتاه چندین بار در اختیار گروه واحدی از افراد قرار داده شود، نتایج به هم نزدیک باشد. در این پژوهش به علت استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و شرایط بسیار متغیرها محیط تصمیم‌گیری، پایایی موضوعیتی ندارد.

در این پژوهش از روش مورا همراه با داده‌های خاکستری، برای اولویت‌بندی و انتخاب ربات‌ها با هدف ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری کارآمد استفاده شده است و همچنین برای یافتن وزن شاخص‌ها از روش آنروپی خاکستری استفاده شده است.

### مراحل کلی اجرای پژوهش

مرحله اول: بررسی و انتخاب شاخص‌های اساسی و تأثیرگذار در انتخاب ربات از پژوهش‌های مرتبط با مسئله انتخاب ربات و انتخاب مؤثرترین شاخص‌ها توسط خبرگان و همچنین مشخص کردن ربات‌هایی که گزینه‌های مورد نظر برای اولویت‌بندی هستند.

ارائه مدلی برای اولویت‌بندی و گزینش ربات‌ها در خطوط تولیدی پیوسته با بهره‌گیری از روش ماتری مورای خاکستری // ۱۵۳

مرحله دوم: تنظیم پرسشنامه بر اساس مهم‌ترین شاخص‌های انتخاب ربات و ۵ ربات پرکاربرد بعنوان گزینه‌های اولویت‌بندی و سپس توزیع پرسشنامه‌ها بین خبرگان و دریافت نظرات خبرگان در مورد میزان دستیابی هر ربات به هر کدام از شاخص‌ها و تبدیل پاسخ‌های کیفی خبرگان به اعداد خاکستری متناظر آن‌ها

جدول ۱. مقیاس اندازه‌گیری در ادبیات خاکستری

مقیاس زبانی	عدد خاکستری
بسیار کم	[۰ ۱]
خیلی کم	[۱ ۳]
کم	[۳ ۴]
متوسط	[۴ ۵]
زیاد	[۵ ۶]
خیلی زیاد	[۶ ۹]
بسیار زیاد	[۹ ۱۰]

مرحله سوم: میانگین‌گیری خاکستری از پاسخ‌ها و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

میانگین پاسخ‌ها

مرحله چهارم: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری با استفاده از رابطه

نرمال‌سازی ساده (رابطه ۱۲ و ۱۳) برای داده‌های خاکستری

$$X_{ij}^* = \frac{\bar{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \bar{x}_{ij}} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$X_{ij}^* = \frac{\underline{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \underline{x}_{ij}} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

مرحله پنجم: پیدا کردن وزن شاخص‌ها با استفاده از روش وزن‌دهی آنروپی

خاکستری که بصورت روابط ۱۴ تا ۲۰ است (کیم، جونگک، لیو و شانگک، ۲۰۱۲).

$$\bar{E}_i = \frac{1}{\ln p} \sum_{j=1}^m \bar{x}_{ij} \ln \bar{x}_{ij} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$\underline{E}_i = \frac{1}{\ln p} \sum_{j=1}^m \underline{x}_{ij} \ln \underline{x}_{ij} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$\bar{D}_i = 1 - \bar{E}_i \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$D_i = 1 - \frac{E}{\bar{D}} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$\frac{\bar{D}}{\sum_{i=1}^n \bar{D}} = W_i \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$W_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$W_i = [ \bar{W}_i \quad \underline{w}_i ] \quad \text{رابطه ۲۰}$$

مرحله ششم: استفاده از رویکرد سیستم نسبت روش مورا و اولویت بندی ربات ها  
 مرحله هفتم: استفاده از رویکرد نقطه مرجع مورا و اولویت بندی  
 مرحله هشتم: استفاده از روش ضربی کامل و اولویت بندی ربات ها  
 مرحله نهم: مقایسه جواب اولویت بندی هر سه رویکرد و انتخاب بهترین اولویت ربات ها

### مراحل رویکرد سیستم نسبت روش مورای خاکستری

۱. نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری با استفاده از رابطه نرمال سازی برداری خاکستری

$$\otimes x_{ij}^* = \frac{\otimes X_{ij}}{\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m (X_{ij}^2 + \bar{X}_{ij}^2)}} \quad \text{رابطه ۲۱}$$

۲. تشکیل ماتریس نرمال شده ی موزون با استفاده از وزن های به دست آمده با روش آنترپی خاکستری

۳. مشخص کردن شاخص های سود و هزینه

۴. برای هر گزینه «برای هر ستون ماتریس تصمیم گیری» مقدار  $Y$  «شاخص رتبه بندی کلی هر گزینه» محاسبه می شود. بدین صورت که ابتدا مجموع خاکستری شاخص های سود و سپس مجموع خاکستری شاخص های هزینه در ماتریس نرمال شده موزون خاکستری این گزینه را محاسبه و در نهایت مجموع شاخص های سود از مجموع شاخص های هزینه برای هر گزینه با استفاده از روابط کسر دو عدد خاکستری محاسبه می شود.

مقدار  $Y$  که بصورت عددی خاکستری بدست آمده است با استفاده از رابطه عدد

قطعی، با در نظر گرفتن  $\lambda = 0.5$  به عدد قطعی متناظرش تبدیل می شود.



گزینه‌ای اولویت بالاتری دارد که مقدار  $\gamma$  قطعی آن بالاترین مقدار در بین گزینه‌ها باشد.

مراحل رویکرد نقطه مرجع روش مورای با استفاده از داده‌های خاکستری

۱. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری با استفاده از رابطه نرمال‌سازی برداری (رابطه ۲۱) خاکستری

۲. تشکیل ماتریس نرمال شده موزون با استفاده از وزن‌های بدست آمده با روش آنتروپی خاکستری

۳. مشخص کردن شاخص‌های سود و هزینه

۴. محاسبه مقدار  $r$  (نقطه مرجع) برای هر شاخص (هر سطر ماتریس تصمیم‌گیری) با استفاده از روابط زیر:

برای شاخص‌های سود (بیشتر - بهتر)

$$\begin{cases} \bar{r}_i = \max_j \bar{X}_{ij}^* \\ \underline{r}_i = \max_j \underline{X}_{ij}^* \end{cases} \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

برای شاخص‌های هزینه (کمتر - بهتر)

$$\begin{cases} \bar{r}_i = \min_j \bar{X}_{ij}^* \\ \underline{r}_i = \min_j \underline{X}_{ij}^* \end{cases} \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

تشکیل ماتریس  $D$  «قدر مطلق اختلاف خاکستری هر درایه ماتریس خاکستری نرمال موزون از نقطه مرجع متناظرش» است. پس از تشکیل ماتریس  $D$ ، برای هر گزینه که قرار است اولویت‌بندی شود، عدد خاکستری تشکیل می‌شود که حد پایین آن بالاترین حد پایین درایه‌های خاکستری مربوط به این گزینه در ماتریس  $D$  و حد بالای آن هم بالاترین حد بالای درایه‌های خاکستری مربوط به این گزینه در ماتریس  $D$  است.

این عدد خاکستری محاسبه شده برای هر گزینه به عدد قطعی متناظرش تبدیل می‌شود و کمترین عدد قطعی که محاسبه شد، مربوط به هر گزینه‌ای که باشد آن گزینه اولین اولویت را در بین سایر گزینه‌ها دارد.

$$= A_{RP}^* \{a_j | = \text{Min}_j \text{Max}_i d_{ij}\} \quad (\text{رابطه ۲۴})$$

مراحل کلی روش ضربی کامل ۲ با استفاده از داده‌های خاکستری

۱. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری با استفاده از رابطه نرمال‌سازی برداری

خاکستری

۲. تشکیل ماتریس نرمال شده موزون با استفاده از وزن‌های بدست آمده با روش

آنتروپی

۳. مشخص کردن شاخص‌های سود و هزینه

۴. با استفاده از رابطه ضرب خاکستری، برای هر گزینه اعداد خاکستری مربوط به

شاخص‌های سود آن گزینه در هم ضرب و اعداد خاکستری مربوط به شاخص‌های هزینه

آن گزینه هم در هم ضرب و مقدار A و B برای هر گزینه با استفاده از روابط زیر محاسبه

می‌شود.

$$\begin{cases} A_i = \prod_{j=1}^g X_{ij}^* \\ B_i = \prod_{j=g+1}^n X_{ij}^* \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲۵})$$

۵. محاسبه درجه اساسی هر گزینه

با تقسیم خاکستری حاصل ضرب شاخص‌های سود به حاصل ضرب شاخص‌های

هزینه برای هر گزینه، درجه اساسی هر گزینه محاسبه می‌شود.

$$U_i = A_i / B_i \quad (\text{رابطه ۲۶})$$

در صورتی که صورت یا مخرج صفر شود یک مرحله فیلتر کردن و یا حذف

شاخص از ماتریس تصمیم‌گیری کارگشا است.

۶. درجه اساسی هر گزینه که عددی خاکستری است با استفاده از روابط بیان شده به

عددی قطعی تبدیل می‌شود و هر گزینه درجه اساسی بالاتری داشت، اولویت بهتری دارد.

## رویکرد پیشنهادی

از آنجا که ربات‌های صنعتی معمولاً گران قیمت هستند، انتخاب ربات مناسب نیاز به تجزیه و تحلیل انتقادی در ارزیابی الزامات با توجه به افزایش پیچیدگی سیستم، ویژگی‌های بسیار توسعه یافته و امکانات احساس می‌شود که بطور مداوم به سیستم ربات گنجانده می‌شود و از طرفی چون تصمیم‌گیری نامناسب ممکن است اثر نامطلوبی بر رقابت شرکت در بلندمدت بگذارد در این پژوهش به منظور اولویت‌بندی دقیق‌تر، اولویت‌بندی با هر سه رویکرد نقطه مرجع، سیستم نسبت و روش ضربی کامل صورت می‌گیرد و جواب‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود و سپس اولیوی انتخاب می‌شود که به اولویت‌بندی هر سه رویکرد نزدیک‌تر باشد.

## یافته‌های پژوهش

همانطور که بیان شد ابتدا خبرگان ۱۰ شاخص پراهمیت‌تر را انتخاب کردند و پرسشنامه با استفاده از این شاخص‌ها و ۵ ربات منتخب اولویت‌بندی تشکیل شد، سپس این پرسشنامه در اختیار خبرگان قرار گرفت و نظر خبرگان در مورد میزان کیفیت هر ربات در این ۱۰ شاخص بصورت واژگان زبانی «بسیار خوب» و «خیلی خوب» و ... دریافت شد سپس با استفاده از معیار تبدیل عبارات کیفی به اعداد خاکستری، پاسخ‌ها با اعداد خاکستری مربوط به خود جایگزین شد و در نهایت از پاسخ هر ۵ گروه خبره در مورد هر ربات و هر شاخص میانگین‌گیری خاکستری شد و ماتریس تصمیم‌گیری میانگین پاسخ‌ها تشکیل شد.

جدول ۲. ماتریس تصمیم‌گیری میانگین پاسخ‌ها

شاخص	KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
کیفیت خدمات فروشندگان	۴/۴	۵/۸	۳/۸	۵/۲	۱/۶	۳	۲/۲	۳/۶	۲/۲	۳/۴
قابلیت رابط انسان و ماشین	۷	۸/۸	۲/۸	۴	۵/۴	۷/۲	۳/۶	۴/۶	۴	۵
هزینه‌های عملیات	۴/۴	۵/۴	۳/۲	۴/۴	۴	۵	۳/۸	۴/۸	۴	۵
آموزش مشتری	۵/۲	۷/۴	۳/۶	۴/۶	۱/۸	۳/۴	۲/۸	۴	۲/۴	۳/۸

شاخص	KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
قابلیت اطمینان	۵/۲	۷	۶/۸	۸/۲	۳	۴	۵/۶	۷/۸	۷	۸/۸
زمان شروع مجدد	۶/۴	۸/۶	۴/۸	۶/۲	۷/۲	۹/۴	۳/۸	۴/۸	۴	۵
درجه آزادی	۷/۲	۹/۴	۷/۸	۹/۶	۶/۶	۹/۲	۷/۸	۹/۶	۸/۴	۹/۸
دقت	۸/۴	۹/۸	۷/۲	۹/۴	۷/۲	۹/۴	۷	۸/۸	۷/۲	۹/۴
ایمنی	۷/۸	۹/۶	۷/۸	۹/۶	۵/۴	۷/۲	۷/۸	۹/۶	۷/۸	۹/۶
استهلاک	۳/۶	۴/۶	۲/۲	۳/۲	۵/۸	۸/۴	۳/۸	۴/۸	۳/۸	۴/۸

در این پژوهش برای وزن‌یابی شاخص‌ها از روش وزن‌شانون استفاده شده است. برای وزن‌یابی شاخص‌ها با این روش ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری با استفاده از روش نرمال‌سازی اول برای داده‌های خاکستری، نرمال می‌شود سپس وزن شاخص‌ها بصورت جدول ۳ محاسبه می‌شود.

جدول ۳. محاسبه وزن شاخص‌ها

X=X*LN X										
شاخص	KUKA	ABB	HYUNDAI	FANUC	MOTOMAN	E	D	w		
کیفیت خدمات فروشنده‌گان	۰/۳۹ -۰/۳۹	۰/۳۵ -۰/۳۵	۰/۲۵ -۰/۲۸	۰/۲۹ -۰/۳۰	۰/۲۹ -۰/۲۹	۰/۹۵۶۶ ۰/۹۷۹۲	۰/۸۴۴۴ ۰/۲۰۰۸	۰/۱۶۹۲ ۰/۱۷۸۱۴	۰/۱۳۲۷۵ ۰/۱۳۲۷۵	
قابلیت رابط انسان و ماشین	۰/۳۶ -۰/۳۶	۰/۲۸ -۰/۲۸۷	۰/۳۴ -۰/۳۴	۰/۲۹ -۰/۲۹	۰/۳۱ -۰/۳۰	۰/۹۶۸۰ ۰/۹۷۲۱	۰/۰۳۲۰ ۰/۰۲۷۹	۰/۱۵۹۸۷ ۰/۱۷۸۱۴	۰/۱۳۲۷۵ ۰/۱۳۲۷۵	
هزینه‌های عملیات	۰/۳۴ -۰/۳۴	۰/۳۰ -۰/۳۱	۰/۳۳ -۰/۳۲	۰/۳۲ -۰/۳۲	۰/۳۳ -۰/۳۲	۰/۹۹۶۷ ۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۳۳ ۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۶۴۹ ۰/۰۰۹۰۷	۰/۱۳۲۷۵ ۰/۱۳۲۷۵	
آموزش مشتری	۰/۳۷ -۰/۳۷	۰/۳۴ -۰/۳۲	۰/۲۵ -۰/۲۸	۰/۳۱ -۰/۳۰	۰/۲۸ -۰/۳۰	۰/۹۵۸۸ ۰/۹۷۳۰	۰/۰۴۱۲ ۰/۰۲۷۰	۰/۲۰۶۰۱ ۰/۱۷۸۱۴	۰/۱۳۲۷۵ ۰/۱۳۲۷۵	
قابلیت اطمینان	۰/۳۱ -۰/۳۲	۰/۳۵ -۰/۳۴	۰/۲۴ -۰/۲۴	۰/۳۲ -۰/۳۳	۰/۳۵ -۰/۳۴	۰/۹۷۶۹ ۰/۹۸۰۷	۰/۰۲۲۱ ۰/۰۱۹۳	۰/۱۱۵۱۵ ۰/۱۳۲۷۵	۰/۱۳۲۷۵ ۰/۱۳۲۷۵	

ارائه مدلی برای اولویت‌بندی و گزینش ربات‌ها در خطوط تولیدی پیوسته با بهره‌گیری از روش ماتری مورای خاکستری // ۱۵۹

X=X*LN X																
شاخص	KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN		E	D	w			
زمان شروع مجدد	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۹۷۹	۰/۹۷۶	۰/۲۰۱	۰/۲۳۵	۰/۱۰۰۴۴	۰/۱۵۰۰۵
درجه آزادی	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲	۰/۱۰۰۵۴	۰/۰۰۱۲۷
دقت	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۹۸۵	۰/۹۹۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۷۳۲	۰/۰۰۲۷۰
ایمنی	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۹۴۲	۰/۹۶۳	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۳۷	۰/۰۲۹۰۱	۰/۰۳۳۶۸
استهلاک	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۹۸۳	۰/۹۶۹	۰/۰۲۲۷	۰/۰۳۳۴	۰/۱۳۸۰	۰/۰۶۹۴

### تشکیل ماتریس نرمال شده موزون

ماتریس میانگین پاسخها به روش نرمال‌سازی برداری نرمال می‌شود و سپس هر شاخص در وزن‌های بدست آمده از روش آنتروپی خاکستری ضرب می‌شود و ماتریس نرمال شده موزون حاصل می‌شود.

جدول ۴. ماتریس نرمال شده موزون

شاخص	KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
کیفیت خدمات فروشندگان	۰/۶۹۸	۰/۱۵۰۲	۰/۶۰۲	۰/۱۳۴۷	۰/۲۵۴	۰/۷۷۷	۰/۳۴۹	۰/۹۳۳	۰/۳۴۹	۰/۸۸۱
قابلیت رابط انسان و ماشین	۰/۹۰۴	۰/۱۲۶۷	۰/۳۶۲	۰/۵۷۶	۰/۶۹۷	۰/۱۰۳۶	۰/۴۶۵	۰/۶۶۲	۰/۵۱۷	۰/۷۲۰
هزینه‌های عملیات	۰/۰۴۰	۰/۰۹۰	۰/۰۲۹	۰/۰۷۳	۰/۰۳۷	۰/۰۸۳	۰/۰۳۵	۰/۰۸۰	۰/۰۳۷	۰/۰۸۳
آموزش مشتری	۰/۹۵۹	۰/۱۶۳۱	۰/۶۶۴	۰/۱۰۱۴	۰/۳۳۲	۰/۷۴۹	۰/۵۱۶	۰/۸۸۲	۰/۴۴۳	۰/۸۳۷
قابلیت اطمینان	۰/۴۰۷	۰/۵۸۶	۰/۵۳۲	۰/۶۸۷	۰/۲۳۵	۰/۳۳۵	۰/۴۳۸	۰/۶۵۳	۰/۵۴۸	۰/۷۳۷
زمان شروع مجدد	۰/۴۵۷	۰/۹۱۹	۰/۳۴۳	۰/۶۶۲	۰/۵۱۵	۰/۱۰۰۴	۰/۲۷۲	۰/۵۱۲	۰/۲۸۶	۰/۵۳۴
درجه آزادی	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۰۵	۰/۰۵۳	۰/۰۰۴	۰/۰۵۰	۰/۰۰۵	۰/۰۵۳	۰/۰۰۶	۰/۰۵۴

شاخص	KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
دقت	/۰۰۱۲	/۰۰۳۸	/۰۰۱۰	/۰۰۳۶	/۰۰۱۰	/۰۰۳۶	/۰۰۱۰	/۰۰۳۴	/۰۰۱۰	/۰۰۳۶
ایمنی	/۰۰۹۹	/۰۱۵۰	/۰۰۹۹	/۰۱۵۰	/۰۰۶۹	/۰۱۱۲	/۰۰۹۹	/۰۱۵۰	/۰۰۹۹	/۰۱۵۰
استهلاک	/۰۴۶۶	/۰۸۹۱	/۰۲۸۵	/۰۶۲۰	/۰۷۵۱	/۱۶۲۷	/۰۴۹۲	/۰۹۳۰	/۰۴۹۲	/۰۹۳۰

### اولویت‌بندی با رویکرد سیستم نسبت روش مورای خاکستری

ابتدا اختلاف خاکستری مجموع شاخص‌های سود از مجموع شاخص‌های هزینه را برای هر ربات محاسبه کرده و سپس برای مقایسه بهتر با استفاده از رابطه تبدیل اعداد خاکستری به اعداد قطعی، این عدد به عدد قطعی تبدیل می‌شود.

جدول ۵. ماتریس رویکرد سیستم نسبت

شاخص	KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
کیفیت خدمات فروشنده‌گان	/۰۰۶۹۸	/۰۱۵۰۲	/۰۰۶۰۲	/۰۱۳۴۷	/۰۲۵۴	/۰۷۷۷	/۰۳۴۹	/۰۹۳۳	/۰۳۴۹	/۰۸۸۱
قابلیت رابط انسان و ماشین	/۰۰۹۰۴	/۰۱۲۶۷	/۰۰۳۶۲	/۰۵۷۶	/۰۶۹۷	/۰۱۰۳۶	/۰۴۶۵	/۰۶۶۲	/۰۵۱۷	/۰۷۲۰
هزینه‌های عملیات	/۰۰۰۴۰	/۰۰۰۹۰	/۰۰۰۲۹	/۰۰۰۷۳	/۰۰۰۳۷	/۰۰۰۸۳	/۰۰۰۳۵	/۰۰۰۸۰	/۰۰۰۳۷	/۰۰۰۸۳
آموزش مشتری	/۰۰۹۵۹	/۰۱۶۳۱	/۰۰۶۶۴	/۰۱۰۱۴	/۰۳۳۲	/۰۷۴۹	/۰۵۱۶	/۰۸۸۲	/۰۴۴۳	/۰۸۳۷
قابلیت اطمینان	/۰۰۴۰۷	/۰۵۸۶	/۰۰۵۳۲	/۰۶۸۷	/۰۲۳۵	/۰۳۳۵	/۰۴۳۸	/۰۶۵۳	/۰۵۴۸	/۰۷۳۷
زمان رستارت	/۰۰۴۵۷	/۰۰۹۱۹	/۰۰۳۴۳	/۰۰۶۶۲	/۰۵۱۵	/۰۱۰۰۴	/۰۲۷۲	/۰۵۱۲	/۰۲۸۶	/۰۵۳۴
درجه آزادی	/۰۰۰۰۵	/۰۰۰۵۱	/۰۰۰۰۵	/۰۰۰۵۳	/۰۰۰۰۴	/۰۰۰۵۰	/۰۰۰۰۵	/۰۰۰۵۳	/۰۰۰۰۶	/۰۰۰۵۴
دقت	/۰۰۰۱۲	/۰۰۰۳۸	/۰۰۰۱۰	/۰۰۰۳۶	/۰۰۰۱۰	/۰۰۰۳۶	/۰۰۰۱۰	/۰۰۰۳۴	/۰۰۰۱۰	/۰۰۰۳۶
ایمنی	/۰۰۰۹۹	/۰۰۱۵۰	/۰۰۰۹۹	/۰۰۱۵۰	/۰۰۰۶۹	/۰۰۱۱۲	/۰۰۰۹۹	/۰۰۱۵۰	/۰۰۰۹۹	/۰۰۱۵۰
استهلاک	/۰۰۴۶۶	/۰۰۸۹۱	/۰۰۲۸۵	/۰۰۶۲۰	/۰۰۷۵۱	/۰۱۶۲۷	/۰۰۴۹۲	/۰۰۹۳۰	/۰۰۴۹۲	/۰۰۹۳۰
اختلاف شاخص‌های سود از هزینه	/۰۲۱۱۹	/۰۳۳۲۶	/۰۱۶۱۷	/۰۲۵۰۷	/۰۲۹۸	/۰۳۸۳	/۰۱۰۸۱	/۰۱۸۴۴	/۰۱۱۵۶	/۰۱۸۶۸
عدد قطعی گزینه	/۰۲۷۲۳		/۰۲۰۶۲		/۰۳۴۱		/۰۱۴۶۴		/۰۱۵۱۲۲	

نتایج اولویت‌بندی با رویکرد سیستم نسبت روش مورای خاکستری به شرح زیر است. با توجه به سطر «اختلاف شاخص سود از هزینه» اولویت اول، ربات «کوکا» چون

ارائه مدلی برای اولویت‌بندی و گزینش ربات‌ها در خطوط تولیدی پیوسته با بهره‌گیری از روش ماتری مالتی مورای خاکستری // ۱۶۱

بالاترین عدد را به خود اختصاص داده است و اولویت دوم «ای بی بی» و اولویت سوم ربات «موتومن» اولویت چهارم ربات «فونیک» اولویت آخر ربات «هیوندای» است.

### اولویت‌بندی با روش نقطه مرجع

برای اولویت‌بندی ربات‌ها با استفاده از رویکرد نقطه مرجع، ابتدا نقطه مرجع هر شاخص مشخص می‌شود و سپس قدر مطلق اختلاف هر درایه از نقطه مرجع مربوط به خود محاسبه و نتایج بصورت جدول شماره ۶ نشان داده می‌شود.

جدول ۶. ماتریس قدر مطلق انحراف هر درایه از نقطه مرجع

شاخص	KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN		نقطه مرجع	
	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U
کیفیت خدمات فروشندگان	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۱۰	/۰۱۶	/۰۴۴	/۰۷۳	/۰۳۵	/۰۵۷	/۰۳۵	/۰۶۲	/۰۷۰	/۰۱۵۰
قابلیت رابط انسان و ماشین	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۵۴	/۰۶۹	/۰۲۱	/۰۲۳	/۰۴۴	/۰۶۰	/۰۳۹	/۰۵۵	/۰۹۰	/۱۲۷
هزینه‌های عملیات	/۰۰۱	/۰۰۲	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۱	/۰۰۱	/۰۰۱	/۰۰۱	/۰۰۱	/۰۰۱	/۰۲۹	/۰۰۷
آموزش مشتری	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۳۰	/۰۶۲	/۰۶۳	/۰۸۸	/۰۴۴	/۰۷۵	/۰۵۲	/۰۷۹	/۰۹۶	/۱۶۳
قابلیت اطمینان	/۰۱۴	/۰۱۵	/۰۰۲	/۰۰۵	/۰۳۱	/۰۴۰	/۰۱۱	/۰۰۸	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۵۵	/۰۷۴
زمان ریستارت	/۰۱۹	/۰۴۱	/۰۰۷	/۰۱۵	/۰۲۴	/۰۴۹	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۱	/۰۰۲	/۰۲۷	/۰۵۱
درجه آزادی	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۱	/۰۰۵
دقت	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۱	/۰۰۴
ایمنی	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۳	/۰۰۴	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۱۰	/۰۱۵
استهلاک	/۰۱۸	/۰۲۷	/۰۰۰	/۰۰۰	/۰۴۷	/۰۱۰۱	/۰۲۱	/۰۳۱	/۰۲۱	/۰۳۱	/۰۲۹	/۰۶۲

ربات کوکا در اولویت اول قرار می‌گیرد چون کمترین مقدار را به خود اختصاص داده و ربات «ای بی بی» در اولویت دوم و اولویت سوم ربات «فونیک» و اولویت چهارم ربات «موتومن» و اولویت آخر ربات «هیوندای» است.

### رویکرد ضربی کامل

در این رویکرد ابتدا برای هر ربات، شاخص‌های سود در هم ضرب خاکستری می‌شوند و سپس شاخص‌های هزینه هم برای هر ربات در هم ضرب خاکستری می‌شوند.

۱۶۲ /// دوفصلنامه مدیریت مهندسی و رایانش نرم/دوره ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، شماره پیاپی ۱۳

**جدول ۷. ضرب خاکستری شاخص‌های سود**

ضرب خاکستری شاخص‌های سود «کیفیت خدمات» و «قابلیت روابط انسان ماشین» و «قابلیت اطمینان» و «آموزش مشتری» و «درجه آزادی» و «دقت» و «ایمنی»									
۱۳۹ × ۱۵-۱۰	۵۳۲ × ۱۳-۱۰	۴۰ × ۱۵-۱۰	۱۶۰ × ۱۳-۱۰	۴ × ۱۵-۱۰	۴۱ × ۱۳-۱۰	۱۹ × ۱۵-۱۰	۹۵ × ۱۳-۱۰	۲۵ × ۱۵-۱۰	۱۱۴ × ۱۳-۱۰

ضرب خاکستری شاخص‌های هزینه برای هر ربات بصورت جدول شماره ۸ است.

**جدول ۸. ضرب خاکستری شاخص‌های هزینه**

ضرب خاکستری شاخص‌های هزینه «هزینه عملیات» و «زمان ریستارت» و «استهلاک»									
۸۵/۶۵	۷۳۲/۵۴	۲۸/۵۵	۲۹۹/۳۵	۱۴۱/۱۳	۱۳۵۳/۸۲	۴۶/۳۶	۳۷۹/۲۳	۵۱/۳۶	۴۱۱/۴۹
× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰	× ۷-۱۰

حاصل تقسیم خاکستری شاخص‌های سود بر هزینه برای هر ربات محاسبه می‌شود.

**جدول ۹. تقسیم شاخص‌های سود بر شاخص‌های هزینه**

KUKA		ABB		HYUNDAI		FANUC		MOTOMAN	
۱/۹۰	۶/۲۱	۱/۳۵	۵/۶۲	۳/۱۳	۲/۹۵	۴/۹۴	۲/۰۵	۶/۰۱	۲/۲۲
× ۹-۱۰	× ۶-۱۰	× ۹-۱۰	× ۶-۱۰	× ۱۱-۱۰	× ۷-۱۰	× ۱۱-۱۰	× ۶-۱۰	× ۱۱-۱۰	× ۶-۱۰

در رویکرد ضریبی کامل، حاصل تقسیم شاخص‌های سود بر شاخص‌های هزینه برای هر ربات، مبنای اولویت‌بندی است. برای مقایسه راحت‌تر بین گزینه‌ها، با استفاده از روابط تبدیل عدد خاکستری به عدد قطعی، این اعداد به عدد قطعی تبدیل شد و نتایج در جدول شماره ۱۰ ارائه شده است.

**جدول ۱۰. مقدار قطعی شده اعداد خاکستری**

KUKA	ABB	HYUNDAI	FANUC	MOTOMAN
۳/۱۰ × ۶-۱۰	۲/۸۱ × ۶-۱۰	۰/۱۴۷ × ۶-۱۰	۱/۰۲۹ × ۶-۱۰	۱/۱۱۴ × ۶-۱۰



ارائه مدلی برای اولویت‌بندی و گزینش ربات‌ها در خطوط تولیدی پیوسته با بهره‌گیری از روش ماتری مورای خاکستری // ۱۶۳

با استفاده از جدول بالا، اولویت اول، ربات «کوکا» چون بالاترین عدد را به خود اختصاص داده است و اولویت دوم ربات «ای بی بی» و اولویت سوم ربات «موتومن» اولویت چهارم ربات «فونیک» اولویت آخر ربات «هیوندای» است. بعد از اولویت‌بندی با هر یک از رویکردهای فوق با استفاده از تجمیع نتایج اولویت‌بندی نهایی انجام می‌شود. نتایج اولویت‌بندی نهایی در جدول شماره ۱۱ ارائه شده است.

**جدول ۱۱. اولویت‌بندی با در نظر گرفتن هم‌زمان نتایج هر سه رویکرد بالا**

اولویت اول	اولویت دوم	اولویت سوم	اولویت چهارم	اولویت پنجم
KUKA	ABB	MOTOMAN	FANUC	HYUNDAI

### نتایج وزن‌یابی شاخص

در این پژوهش با استفاده از روش وزن‌یابی آنتروپی خاکستری، وزن شاخص‌ها مشخص شد و همانطور که انتظار می‌رفت، شاخص‌هایی که در آن هر ۵ ربات از نظر تصمیم‌گیرندگان نزدیک به هم ارزیابی شده بودند وزن کمتری را نسبت به دیگر شاخص‌ها به خود اختصاص داد.

**جدول ۱۲. وزن قطعی شاخص‌ها**

شاخص	کیفیت خدمات فروشندگان	قابلیت رابط انسان - ماشین	هزینه عملیات	آموزش مشتری	قابلیت اطمینان	زمان ریسارت	درجه آزادی	دقت	ایمنی	استهلاک
وزن قطعی	۰/۱۷۴	۰/۱۶۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۸۹	۰/۱۱۹	۰/۱۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۶	۰/۱۷۲

نتایج وزن‌دهی به شاخص‌ها گویای آنست که:

✓ نتایج وزن‌یابی شاخص‌ها در این پژوهش و مقایسه‌ای که با نتایج پژوهش‌های دیگر در مورد وزن شاخص‌ها انجام شد، مشاهده شد که برخی از شاخص‌های غیرفنی همچون «آموزش فروشندگان» اهمیت بیشتری نسبت به شاخص‌های فنی دارند بنابراین

می توان نتیجه گرفت پاسخ خبرگان در مورد شاخص های فنی ربات ها معمولاً به هم نزدیک و پراکندگی پاسخ ها بیشتر متوجه برخی از شاخص های غیر فنی است. ✓ با توجه به بالا بودن وزن بیشتر شاخص های غیر فنی نسبت به شاخص های فنی توصیه می شود هر گاه این شرکت تصمیم به خرید برندهای جدید ربات داشته باشد که تجربه ای جدید است و امکان استفاده از این مدل به دلیل عدم آگاهی خبرگان در مورد میزان دستیابی ربات جدید به شاخص ها فراهم نیست، حساسیت بیشتری در مورد شاخص های غیر فنی همچون کیفیت خدمات فروشندگان و ... داشته باشد.

### نتیجه گیری

نتیجه اولویت بندی با رویکرد سیستم نسبت روش مورای خاکستری با نتایجی که از رویکرد ضریبی کامل دریافت شد، یکسان بود و در اولویت بندی هردو ربات «کوکا» اولین اولویت و ربات «ای بی بی» دومین اولویت و ربات «موتومن» و «فونیک» و «هیوندای» به ترتیب اولویت های سوم تا پنجم را به خود اختصاص دادند و رویکرد نقطه مرجع در اولویت بندی ها همچون دو رویکرد قبل ربات «کوکا» و ربات «ای بی بی» را به ترتیب در اولویت های اول و دوم قرارداد و ربات «هیوندای» را نیز در اولویت آخر قرارداد اما برخلاف دو رویکرد قبل ربات «فونیک» را در اولویت سوم و «موتومن» را در اولویت چهارم قرارداد. با توجه به نتایج این پژوهش نتایج زیر حاصل شد:

هر گاه تصمیم گیرندگان به علت حساسیت مسئله و لزوم برآورد همه شاخص ها بر این عقیده باشند که آلترناتیوی که حتی در یک شاخص بسیار ضعیف است غیر قابل قبول تلقی شود، رویکرد نقطه مرجع روش مورای برای حذف گزینه های نامطلوب و کوچک کردن فضای نمونه مناسب است اما اگر ضعیف بودن در یک شاخص به شرط قوی بودن در سایر شاخص ها برای تصمیم گیرندگان امری پذیرفته شده باشد، این رویکرد نمی تواند رویکرد مناسبی برای اولویت بندی آلترناتیوها باشد.

در رویکرد نقطه مرجع برای هر شاخص یک نقطه مرجع (بهترین نقطه) در نظر گرفته می‌شود و ملاک اولویت‌بندی ربات‌ها، بیشترین فاصله شاخص‌های هر ربات از نقطه مرجع مربوطه است. در حقیقت رویکرد نقطه مرجع ابتدا ضعف هر ربات را در نظر می‌گیرد و سپس رباتی اولین اولویت را به خود اختصاص می‌دهد که در نقطه ضعف خود قوی‌تر ظاهر شده باشد. در واقع روش نقطه مرجع هر ربات را همانند یک زنجیر در نظر می‌گیرد و هر شاخص را یک حلقه از این زنجیر فرض می‌کند و همان‌گونه که استحکام یک زنجیر فقط و فقط وابسته به ضعیف‌ترین حلقه آن است، اولویت هر ربات هم وابسته به ضعیف‌ترین شاخص آن است. با این شرح رویکرد نقطه مرجع بصورت غیرجبرانی عمل می‌کند.

رویکرد سیستم نسبت و ضریبی کامل برعکس رویکرد نقطه مرجع و جبرانی هستند. یعنی ضعف ربات در یک شاخص با قدرتش در دیگر شاخص‌ها جبران می‌شود. رویکرد سیستم نسبت و رویکرد ضریبی کامل هر دو جبرانی هستند با این تفاوت که رویکرد ضریبی کامل به جای کسر مجموع شاخص‌های سود از مجموع شاخص‌های هزینه، حاصل ضرب شاخص‌های سود را به حاصل ضرب شاخص‌های هزینه تقسیم می‌کند. یکی از ضعف‌های رویکرد ضریبی کامل نسبت به رویکرد سیستم نسبت این موضوع است که هرگاه رباتی در یکی از شاخص‌های هزینه، مقدار صفر را اختیار کند دیگر نمی‌توان با رویکرد کامل ضریبی به اولویت‌بندی پرداخت و باید ناچار آن شاخص را برای همه گزینه‌ها حذف کرد، در حالی که در رویکرد سیستم نسبت این مقدار صفر فقط تأثیر بیشتری روی اولویت‌بندی ربات می‌گذارد و هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند. در رویکرد نقطه مرجع، اگر نظر خبرگان تنها در مورد یک شاخص (شاخص ضعف ربات‌ها) تغییر کند، اولویت‌بندی تحت تأثیر قرار می‌گیرد در حالی که در رویکرد کامل ضریبی و رویکرد سیستم نسبت اگر نظر خبرگان در مورد یک شاخص ربات‌ها تغییر کند جایجایی اولویت‌ها با توجه به تعداد زیاد شاخص‌ها چندان محتمل نیست.

یکی از اهداف این پژوهش، بررسی عملکرد گذشته شرکت با نتایج بدست آمده است. در این راستا می توان گفت عملکرد گذشته با آنچه در این پژوهش بدست آمد بسیار متفاوت بود، بعنوان مثال، خریدهای جدید شرکت بیشتر مربوط به ربات «هیوندای» بود که نتایج این پژوهش این ربات را در اولویت آخر قرار داده بود، این مسئله بیشتر به علت مسائل سیاسی و اقتصادی کشور است که در چند سال اخیر باعث شده است خرید ربات های آمریکایی و اروپایی با مشکلاتی چون تحریم اقتصادی، نبود نقدینگی کافی برای خرید ربات و ... مواجه باشد.

### پیشنهادهای پژوهش

در این پژوهش از روش وزن دهی آنتروپی خاکستری برای وزن دهی به شاخص ها استفاده شده است. پیشنهاد می شود درجه اهمیت هر شاخص هم در قالب یک سؤال در پرسشنامه درج شود تا خبرگان نظرات خود را در مورد اهمیت شاخص ها نسبت به یکدیگر بیان کنند و این وزن همراه با وزن بدست آمده از آنتروپی خاکستری در اولویت بندی ربات ها دخیل باشد.

توصیه می شود اولویت بندی ربات ها با استفاده از شاخص های بیشتری صورت بگیرد تا دقت اولویت بندی بالا رود. در این پژوهش به علت مشکلاتی نظیر عدم دسترسی به خبرگان صنعت و ... ربات ها از لحاظ شاخص های دیگر همچون سهولت تعمیر و ... مورد بررسی قرار نگرفته اند.

گروه تصمیم گیرندگان در این پژوهش شامل ۵ گروه ۲ نفر که یکی خبره فنی و دیگری خبره بازرگانی بود تشکیل شد. همچنین به علت عدم دسترسی به خبرگان بیشتر، شرایطی برای انتخاب آن ها لحاظ شد. پیشنهاد می شود در صورت دسترسی به خبرگان، هم از تعداد خبرگان بیشتر استفاده شود و هم شرایط انتخاب خبره سخت گیرانه تر باشد، در این صورت قطعاً تصمیم گیری در مورد انتخاب ربات دقیق تر خواهد بود.

توصیه می شود در انتخاب ربات خبرگانی که در بخش های دیگر سازمان «از جمله بخش طراحی» هستند و به نوعی با ربات ها در ارتباط هستند نیز شرکت داشته شوند و

ارائه مدلی برای اولویت‌بندی و گزینش ربات‌ها در خطوط تولیدی پیوسته با بهره‌گیری از روش ماتری مورای خاکستری // ۱۶۷

شاخص‌هایی که خبرگان این بخش‌ها برای انتخاب ربات در نظر می‌گیرند نیز در فرایند تصمیم‌گیری شرکت داشته باشد.

پیشنهاد می‌شود که این شرکت از روش مورای برای تصمیم‌گیری در مسائل دیگر همچون انتخاب مواد، انتخاب تأمین‌کننده و... با نظر گرفتن شاخص‌های مناسب استفاده کند.

با توجه به این که ربات «هیوندای» در هر سه رویکرد مورای با اختلاف زیادی از ربات پیش از خود بعنوان اولویت آخر انتخاب شد، در صورتی که امکان خرید هیچ کدام از چهار رباتی که در این پژوهش اولویت قبل از ربات «هیوندای» را به خود اختصاص دادند فراهم نبود، قبل از خرید ربات «هیوندای» برندهای دیگر ربات را هم مورد بررسی قرار دهند و اگر امکان دارد این ربات را با برند دیگر جایگزین کنند.

از جمله نوآوری‌های این پژوهش می‌توان موارد زیر را متذکر شد:

- یافتن مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در انتخاب ربات
- استفاده از اعداد خاکستری در ماتریس تصمیم‌گیری و همچنین وزن یابی خاکستری با استفاده از روش آنترپی خاکستری برای هر شاخص
- اولویت‌بندی ربات‌های صنعتی با هر سه رویکرد روش مورای خاکستری
- اولویت‌بندی نهایی ربات‌ها با استفاده از نتایج هر سه رویکرد روش مورای بصورت همزمان
- بررسی نقاط ضعف و قوت هر رویکرد با استفاده از نتایج پژوهش

## منابع

- Attri, R., & Grover, S. (2014). Decision making over the production system life cycle: MOORA method. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 5(3), 320-328.
- Balezentis, A., Balezentis, T., & Brauers, W. K. (2012). MULTIMOORA-FG: A multi-objective decision making method for linguistic reasoning with an application to personnel selection. *Informatica*, 23(2), 173-190.
- Bhattacharyya, O., & Chakraborty, S. (2015). Q-analysis in Materials Selection. *Decision Science Letters*, 4(1), 51-62.
- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2012). Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1), 1-25.
- Brauers, W. K. M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Vilutiene, T. (2008). Multi-objective contractor's ranking by applying the Moora method. *Journal of Business Economics and Management*, 9(4), 245-255.
- Chakraborty, S. (2011). Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(9-12), 1155-1166.
- Chatterjee, P., Athawale, V. M., & Chakraborty, S. (2010). Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(5), 483-489.
- Das Adhikary, D., Kumar Bose, G., Bose, D., & Mitra, S. (2014). Multi criteria FMECA for coal-fired thermal power plants using COPRAS-G. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(5), 601-614.
- Datta, S., Sahu, N., & Mahapatra, S. (2013). Robot selection based on grey-MULTIMOORA approach. *Grey Systems: Theory and Application*, 3(2), 201-232.
- Farzamniah, E., & Babolghani, M. B. (2014). GROUP DECISION-MAKING PROCESS FOR SUPPLIER SELECTION USING MULTIMOORA TECHNIQUE UNDER FUZZY ENVIRONMENT. *Kuwait Chapter of the Arabian Journal of Business and Management Review*, 3(11A), 203.
- Gadakh, V. S. (2010). Application of MOORA method for parametric optimization of milling process. *International Journal of Applied Engineering Research*, 1(4), 743.
- Gorener, A., Dinçer, H., & Hacıoglu, U. (2013). Application of Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA) Method for Bank Branch Location Selection.
- Gorener, A., Dinçer, H., & Hacıoglu, U. (2013). Application of Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA) Method for Bank Branch Location Selection.
- Jafarnejhad, A. Ghasemi, A. 2010. Technology Acquisition Strategy in Science and Technology Park of University of Tehran, *Management Information Technology*, 1, 34-51. . (In Persian).
- Jolly, K. G., Kumar, R. S., & Vijayakumar, R. (2010). Intelligent task planning and action selection of a mobile robot in a multi-agent system through a fuzzy neural network approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(6), 923-933.
- Kalibatias, D., & Turskis, Z. (2015). Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method. *Information technology and control*, 37(1).
- Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). A Fuzzy-MOORA approach for ERP system selection. *Decision Science Letters*, 1(1), 11-21.
- Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection. *Materials & Design*, 37, 317-324.
- Kildiene, S. (2013). Assessment of opportunities for construction enterprises in European Union member states using the MULTIMOORA method. *Procedia Engineering*, 57, 557-564.
- Kim, G., Jong, Y., Liu, S., & Shong, C. R. (2012). Hybrid Grey Interval Relation Decision-Making in Artistic Talent Evaluation of Player. *arXiv preprint arXiv:1207.3855*.
- Kumar Sahu, A., Datta, S., & Sankar Mahapatra, S. (2014). Supply chain performance benchmarking using grey-MOORA approach: An empirical research. *Grey Systems: Theory and Application*, 4(1), 24-55.
- Kumar, R., & Garg, R. K. (2010). Optimal selection of robots by using distance based approach method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(5), 500-506.
- Mehregan, M. 2007. Multi Objective Decision Making, Collegiate Center Pub. Tehran. (In Persian).

- Mohamadi, A. Molaei, N. (2010). Application of Multi Criteria Decision Making in Companies' Performance Assessment, *Industrial Management Journal*, 1, 34-51. (In Persian).
- Momeni, M. 2010. *New issue in operation research*, Faculty of Management of University of Tehran Pub. Tehran (In Persian).
- Parameshwaran, R., Kumar, S. P., & Saravanakumar, K. (2015). An integrated fuzzy MCDM based approach for robot selection considering objective and subjective criteria. *Applied Soft Computing*, 26, 31-41
- Rao, R. V., & Padmanabhan, K. K. (2006). Selection, identification and comparison of industrial robots using digraph and matrix methods. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22(4), 373-383.
- Rashid, T., Beg, I., & Husnine, S. M. (2014). Robot selection by using generalized interval-valued fuzzy numbers with TOPSIS. *Applied Soft Computing*, 21, 462-468.
- Sarucan, A., Baysal, M. E., Kahraman, C., & Engin, O. (2011). A hierarchy grey relational analysis for selecting the renewable electricity generation technologies. In *Proceedings of the world congress on engineering*, 2, 1149-1154.
- Stankevičienė, J., & Sviderskė, T. (2012). Country risk assessment based on MULTIMOORA. In *7th International Scientific Conference "Business and Management 2012" May 10-11, 2012, Vilnius, Lithuania*.
- Stanujkic, D., Magdalinovic, N., Stojanovic, S., & Jovanovic, R. (2012). Extension of ratio system part of MOORA method for solving decision-making problems with interval data. *Informatica*, 23(1), 141-154.
- Taghifard, M. Malek, A. 2010. Using Grey Decision Making method to Key Performance Criteria Ranking and Strategic Planning improvement, *Industrial Management Studies*, 22, 135-166. . (In Persian).
- Turskis, Z., & Zavadskas, E. K. (2010). A novel method for multiple criteria analysis: grey additive ratio assessment (ARAS-G) method. *Informatica*, 21(4), 597-610.
- Yuzhong, Y., & Liyun, W. (2007, September). Grey entropy method for green supplier selection. In *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on* (pp. 4682-4685). IEEE.
- Zhang, X., & Liu, P. (2010). Method for multiple attribute decision-making under risk with interval numbers. *International Journal of Fuzzy Systems*, 12(3), 237-242.

