Archive of SID

2th International Conference on Industrial Management
19 & 20 April 2017
دومین کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی
(30 و 31 فروردین 1396)

ارائه الگوریتم متاهیوریستیک برای مسئله دسته‌بندی چند معیاره موجودی

جواد بهنامیان [1]*، روناک محمدی [2]

1 استادیار، مهندسی صنایع، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
2 کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشگاه بوعلی سینا،همدان،ایران

چکیده

سیستم ایمنی بدن موجودات بسیار گسترده و خودسازمان یافته است. برخوردهای قبلی را در حافظه نگه می‌دارد و توانایی یادگیری برخوردهای جدید را به طور دائمی داراست. الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی حول این مفهوم توسعه یافته است. یک سیستم ایمنی مصنوعی می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های کاربردی یک سیستم ایمنی طبیعی از جمله تنوع، مقاومت در مقابل خطا، یادگیری پویا و تطابق پذیری را ترکیب نمایند. در این مقاله یک الگوریتم متاهیوریستیک بر پایه الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی برای مسئله دسته‌بندی چندمعیاره موجودی ارائه شده است. با توجه به اهمیت تنظیم پارامتر در کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری، از طریق روش فاکتوریل کامل این کار انجام و در نهایت نتایج عددی جامعی برای ارزیابی کارایی الگوریتم گزارش شده است.

کلمات کلیدی

الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی، تنظیم پارامتر، طبقه‌بندی موجودی، برنامه‌ریزی چندمعیاره

* **نویسنده مسئول مکاتبات:** جواد بهنامیان
Behnamian.behnamian@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

1. مقدمه

سیستم های ایمنی مصنوعی از جمله روش های حل مساله ی الهام گرفته از طبیعت می باشند. مبنای این سیستم ها، سیستم ایمنی بدن مهره داران است که سیستمی یادگیر با توانایی شناسایی الگو می باشد. سیستم ایمنی بدن مهره داران یکی از پیچیده ترین سیستم های حیاتی موجودات زنده است که پیچیدگی آن را می توان با پیچیدگی مغز مقایسه نمود. همانطور که شبکه های عصبی مصنوعی، ملهم از عملکرد مغز می باشند؛ سیستم های ایمنی مصنوعی نیز با بهره گیری از دانش موجود بر اساس سیستم ایمنی بدن مهره داران طراحی شده اند (احسانی و افتخاری مقدم، 1387). به طور کلی هدف و وظیفه سیستم ایمنی مهره داران، محافظت از بدن در برابر عوامل بیماریزا است. برای این منظور سیستم ایمنی باید بتواند عوامل بیماریزا را شناسایی کند.

عامل بیماریزا از بخش های مختلفی تشکیل شده است؛ یکی از این بخش‌ها، آنتیژن نام دارد. سلول های سیستم ایمنی برای شناسایی عامل بیماریزا، باید آنتیژن آن را شناسایی کنند. پس از اینکه سیستم ایمنی یک عامل بیماریزا را تشخیص داد، سلسله اقداماتی جهت نابود کردن عامل بیماریزا شروع می کند. برای حل یک مساله با استفاده از سیستم ایمنی مصنوعی باید به سوالات زیر پاسخ داده شود:

1. نحوه نمایش داده های مساله
2. مقیاس سنجش میل ترکیبی
3. انتخاب الگوریتم ایمنی مصنوعی جهت حل مساله

که این مراحل را می توان معادل مراحل نمایش کروموزوم، تعریف تابع ارزیابی و انتخاب الگوریتم تکاملی دانست.

2. الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی

سیستم های ایمنی مصنوعی جزء الگوریتم های الهام گرفته شده از بیولوژی هستند که نمونه چنین الگوریتم هایی شبکه های عصبی هستند. الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی برای حل مسئله، از سیستم ایمنی طبیعی الهام گفته شده است. هنگامی که عوامل بیماری زای خارجی مثل باکتری ها، ویروسها و در یک قالب کلی آنتی ژن ها ارگانیسم موجودات زنده را مورد تهاجم قرار می دهند ضمن تخریب سلول ها به تکثیر نیز می پردازند. یکی از مکانیزم های جالب سیستم تدافعی موجودات زنده در مقابله با این تهاجم، تکثیر سریع سلول های تدافعی است که توفیق لازم در شناسایی آنتی ژن ها و نابود کردن آن ها را دارا هستند. جالب اینجاست که میزان تکثیر سلول های تدافعی و آنتی بادی به میزان موفقیت آن ها در نابود کردن فاکتور های تهاجمی وابسته است. یعنی سیستم ایمنی، سلول های تدافعی با عملکرد بهتر را بیشتر و آنهایی که دارای قابلیت کمتری هستند را کمتر تکثیر می کند. میزان تشخیص یک آنتی ژن به وسیله سلول های تدافعی به وسیله فاکتوری بنام "قرابت" شناخته می شود. سلول های تدافعی با قرابت کمتر باید متحمل عملگر زیستی بنام "جهش" شوند تا با تغییرات ساختاری بتوانند قرابت خود را با عوامل بیماریزا بیشتر کرده و عملکرد دفاعی خود را بهبود ببخشند. میزان جهش

www.SID.ir

Archive of SID

برای عوامل دفاعی با قرابت بیشتر کمتر است و بالعکس (صفایی و همکاران، 1387). بنابراین 4 مفهوم قرابت، انتخاب، جهش و تکثیر در عملکرد سیستم ایمنی و الگوریتم ایمنی مصنوعی نقش عمده ای را ایفا می کنند.

الگوریتم 1: الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی

گام 1: تابع هدف مخصوص مسئله را تعریف و پارامتر های الگوریتم را معین کنید.
تکرار را مساوی صفر قرار دهید. (شمارنده ای برای تعداد تکرار ها) جواب های تصادفی امکان پذیر اولیه را تولید کنید.
گام 2: یک آنتی ژن را بطور تصادفی انتخاب کرده و در معرض تمام آنتی بادی ها قرار دهید.
میل ترکیبی همهٔ آنتی ژن ها را محاسبه کنید و بردار میل ترکیبی را بسازید.
گام 3: آنتی بادی های با بالاترین میل ترکیبی را انتخاب کنید.مجموعهٔ همزاد ها را برای آنتی بادی های منتخب تولید نمایید.
گام 4: برای هر همزاد تولید شده عمل جهش معکوس (قسمتی از رشتهٔ همزاد را انتخاب کرده و معکوس کنید) را با یک احتمالی انجام داده و میل ترکیبی جواب جدید را محاسبه کنید. اگر میل ترکیبی جواب جدید از میل ترکیبی همزاد بزرگتر است آنگاه همزاد را برابر با جواب جدید قرار داده و در غیر این صورت عمل تغییر جفتی را انجام دهید. (دو مکان را انتخاب کرده و اجزای آنها را جابجا کنید) میل ترکیبی جواب جدید را محاسبه کنید، اگر بزرگ تر از میل ترکیبی همزاد بود آنگاه همزاد را برابر با جواب جدید قرار داده و در غیر این صورت همزاد را تغییر ندهید.
گام 5: ساکنین جدید جمعیت (یعنی همزاد ها) را در معرض آنتی ژن ها قرار دهید. امکان پذیری را کنترل کرده و میل ترکیبی را محاسبه نمایید.
گام 6: آنتی بادی‌های با کمترین میل ترکیبی را با بهترین همزاد ها تعویض کنید.
اگر تکرار > ماکسیمم تکرار :
تکرار را به اضافه یک کرده، برابر تکرار قرار داده و برگردید به گام 2،
در غیر این صورت بهترین آنتی بادی را به عنوان خروجی ارائه دهید

.

3. تخمین پارامتر

در این بخش کد الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی را برای مثالی از مسئله طبقه بندی موجودی چندمعیاره در نظر گرفته و در ادامه با استفاده از نتایج بدست آمده از اجرا این الگوریتم برای مسئله گفته شده به تخمین پارامتر های آن پرداخته شده است. تنوع قابل ملاحظه تقاضا و فعالیت های سطح شرکت، موسسات تولیدی را ناگزیر به تهیه اقلام متنوعی از مواد اولیه و محصولات تولیدی در انبار های خود نموده است. این تنوع اقلام موجودی، شرکت ها را ناگزیر به طبقه بندی این اقلام و تدوین سیاست های موجودی اثر بخش می کند. طبقه بندی کلاسیک ABC از مشهورترین روش های طبقه بندی اقلام

www.SID.ir

Archive of SID

موجودی است. هدف اصلی از طبقه بندی ABC، متمرکز کردن تلاش برای کنترل شدید اقلام طبقه A، کنترل کمتر اقلام طبقه B و کنترل بسیار کم اقلام طبقه C می باشد (رضائی و اسماعیل زاده، 1389). برای طبقه بندی موجودی با این روش ابتدا از شخص تصمیم گیرنده که میتواند مدیر یا انباردار باشد، خواسته می شود که تعدادی از طبقات اقلام را که مطمئن است انجام دهد، سپس الگوریتم با استفاده از این الگو بقیه اقلام را طبقه بندی خواهد کرد.

در اینجا برای اجرا و بررسی نتایج الگوریتم از یک مسئله با 145 قلم موجودی استفاده شده و در ابتدا شخص تصمیم گیرنده (مثلا مسئول و مدیر انبار) تعداد 30 قلم از موجودی‌ها که مطمئن است در هر رده قرار می گیرند را اعلام می کند.

3.1. تنظیم پارامتر های الگوریتم

در این بخش روشی برای بدست آوردن بردار وزن، توسط الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی برای مسئله طبقه بندی موجودی چند معیاره ارائه شده است.

در این الگوریتم آنتی ژن ها به توابع هدفی که نیازمند بهینه شدن هستند و آنتی بادی ها به راه حل های کاندید یک مسئله اشاره دارد که معمولا آنتی بادی های اولیه به صورت تصادفی در فضای شدنی مسئله انتخاب می شوند. اکتشاف آنتی بادی جدید بطور کلی توسط تولید یک استخر از راه حل های کاندید پیاده سازی می شود و این عمل تا زمانی که تعداد از پیش تعیین شده ای از نسل‌ها بدست آید، تکرار می شود.

محاسبه میل ترکیبی بین آنتی بادی ها برای سرکوب آنتی بادی های مشابه در این الگوریتم تعبیه شده است به گونه ای که آنتی بادی که سازگاری بیشتری با آنتی ژن دارد به عنوان راه حل انتخاب می شود.

در این الگوریتم یک آنتی بادی بصورت یک رشته به طول k+2 نمایش داده می شود که k تا از زیر بخش این رشته، بردار وزن مربوط به معیار هاو دو زیر بخش انتهایی، دو نقطه برش را نشان می دهند. مقادیر هر زیر بخش متعلق به بردار وزن در فاصله صفر و یک قرار دارند که جمع تمام این عناصر در بردار وزن برابر یک است. علاوه بر این ارزش برش AB بیشتر از ارزش برش BC است. یک نمونه از کدگذاری آنتی بادی در شکل (1) آمده است که در آن W_j وزن معیار j را نشان می دهد.

W_1	W_2	W_3	...	W_k	x_{AB}	x_{BC}

شکل(1): نحوه کدگذاری آنتی بادی

جمع وزن قلم i ام موجودی یعنی ws(a,i) به صورت رابطه 1 بدست می آید:

$$ws(a,i) = \sum_{j=1}^{k} w_j \frac{i_j - \min j}{\max j - \min j} \qquad (1)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن i_j ارزش قلم i ام برای معیار j ام است. max_j و min_j نیز ماکسیمم و مینیمم ارزش معیار j ام از میان همه اقلام موجودی است و در نهایت طبقه بندی قلم i ام موجودی توسط الگوریتم برای آنتی بادی شکل (2) بصورت رابطه 2 بدست می آید:

$$p_i = \begin{cases} 1 & classification(i,a) = class(i) \\ 0.4 & |classification(i,a) - class(i)| = 1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

با توجه به کدگذاری فوق الگوریتم ایمنی مصنوعی از استراتژی انتخاب چرخ رولت در عملگر تقاطع و از استراتژی انتخاب نخبه گرا در عملگر تولید مجدد (کپی کردن بهترین آنتی بادی به نسل بعدی) استفاده می کند.

محاسبه تابع fitness (a) یعنی تابع برازندگی برای آنتی بادی شکل (2) بصورت روابط 3 و 4 محاسبه می شود:

$$fitness(a) = \frac{\sum_{i=1}^{t} p_i}{t} \quad (3)$$

$$Classification\ (a,i) = \begin{cases} A & if \quad X_{AB} \le ws(a,i) \\ B & if \quad X_{BC} \le ws(a,i) < X_{AB} \\ C & if \quad otherwise \end{cases} \quad (4)$$

که در آن t سایز مجموعه در نظر گرفته شده و class(i) طبقه داده شده به قلم i ام توسط تصمیم گیرنده است که اگر اشتباه این اختلاف طبقات یک باشد p_i مقدار 0.4 و اگر دو باشد مقدار صفر و اگر اشتباهی در کار نباشد به عبارت دیگر اگر الگوریتم و تصمیم گیرنده برای قلم i به طور یکسان یک طبقه را در نظر گرفته باشند، p_i مقدار یک می گیرد.

3.2. عملگر تقاطع

انتخاب زوج آنتی بادی ها تحت عمل تقاطع با یک احتمال ثابت pc صورت می گیرد. اگرچه جمعیت اولیه طوری تنظیم می‌شود که همه آنتی بادی ها قوانین کدگذاری فوق را رعایت کنند، با اعمال عملگر تقاطع همچنان این قوانین پابرجاست.

اگر x و y دو آنتی بادی باشند و x´ و y´ دو فرزند باشند آنگاه روابط 5 تا 8 را داریم:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_{k+2}) \quad (5)$$

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_{k+2}) \quad (6)$$

$$x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_{k+2}) \quad (7)$$

$$y' = (y'_1, y'_2, \dots, y'_{k+2}) \quad (8)$$

ترکیب خطی محدب حاصل از آنتی بادی ها به صورت روابط 9 و 10 بدست می آید که مطمئنا در فضای موجه قرار دارند:

www.SID.ir

Archive of SID

$$x'_i = \lambda x_i + (1-\lambda) y_i \quad (9)$$

$$y'_i = (1-\lambda) x_i + \lambda y_i \quad (10)$$

اگر λ برابر صفر باشد اولاد شبیه والدین خواهند بود و اگر λ برابر 0.5 باشد اولاد شبیه به هم می شوند و ارزش زیر بخش های آن ها برابر با ارزش متوسط زیر بخش های مربوط به والدین می شود. اگر λ بزرگتر مساوی صفر باشد ارزش زیر بخش ها بین صفر و یک است ولی اگر λ کمتر از صفر باشد ارزش زیر بخش ها در حال نوسان خواهد بود؛ با این حال ممکن است ارزش زیر بخش حتی خارج از محدوده باشد (بزرگتر از یک و منفی) در صورتی که جمع عناصر آن آنتی بادی هنوز یک باشد. برای رفع این مشکل باید از نرمالیزه کردن استفاده کرد به این صورت که ابتدا کمترین ارزش زیر بخش را پیدا کرده و از ارزش همه زیر بخش ها کم کرده و سپس طبق رابطه 11، ارزش هر زیر بخش را بدست آورد:

$$x_i = \frac{x_i}{\sum_{j=1}^{k} x_j} \quad (11)$$

که در آن k تعداد معیار ها است. اگر با اعمال این روش x_{AB} کمتر از x_{BC} شد آن دو را باید جابجا کرد.

بعد از اعمال عملگر ها روی آنتی بادی نوبت به سرکوب و حذف آنتی بادی های مشابه می رسد. در واقع در این مرحله تمام اعضا با توجه به درجه برازندگی بدست آمده از تابع هدف، رتبه بندی می شوند و سپس با استفاده از تابع انتخاب، ارزش بهترین آنتی بادی تعیین می شود تا به نسل بعد انتقال یابد. این روش انتخاب بهترین اعضا برای انتقال به نسل بعد، جهت بدست آوردن بهترین راه حل بسیار مهم است و تا حد زیادی روی تنوع و نرخ همگرایی به راه حل تاثیر می گذارد. در ادامه، راه حل های کاندید با بهترین راه حل (مرجع) بدست آمده تا کنون، مقایسه می شوند تا میل ترکیبی که شباهت بین راه حل های کاندید با بهترین راه حل شناخته شده را نشان می دهد، با استفاده از تئوری آنتروپی محاسبه شود به گونه ای که هرچه شباهت راه حل کاندید به راه حل مرجع بیشتر باشد باید برازندگی آن کاهش یابد.

3.3. تئوری آنتروپی

ابرمسون در سال 1963 برای متغیر تصادفی گسسته X، آنتروپی H(X) را به صورت روابط 12 تا 15 تعریف کرد که در آن p تابع احتمال می باشد:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \quad (12)$$

$$p(X = x_i) = p_i \quad (13)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i * \log p_i \quad (14)$$

$$aff(i) = \frac{1}{(1 + (1/k) \sum_{j=1}^{k} h_{ij})} \quad (15)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که aff(i) میزان شباهت، k اندازه رشته و $h_{ij} = -p_{ij} \log p_{ij}$ می باشد. فرمول فوق برای فضای گسسته استفاده می‌شود در حالیکه ژن ها یک عدد پیوسته بین صفر و یک می باشند که اگر برای محاسبه میزان شباهت آنها از فرمول بالا استفاده شود همیشه میزان شباهت برابر0.87 بدست می آید که این نشان دهنده شبیه نبودن دو ژن می باشد و این معقول است چرا که احتمال اینکه دو بردار در فضای پیوسته مثل هم باشند برابر صفر است، برای رفع این مشکل از روش زیر استفاده می کنیم:اگر اختلاف دو ژن کمتر، مساوی 0.01 باشد فرض می کنیم این دو ژن شبیه هستند و اگر بیشتر از 0.01 باشد، شبیه نیستند که میزان این اختلاف نیز جزء پارامتر های مهمی است که باید برای مسائل مختلف طبق روابط 16 و 17 تنظیم شود:

$$|x_j - x_{j\,ref}| \leq 0/01 \rightarrow p_{ij} = 1 \qquad (16)$$

$$|x_j - x_{j\,ref}| > 0/01 \rightarrow p_{ij} = 0/5 \qquad (17)$$

راه حل های کاندید با ارزش سازگاری بیشتر احتمال بالاتری برای انتخاب تولید نسل بعدی دارند که انتصاب ارزش احتمال توسط چرخ رولت انجام می گیرد. الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی برای کمک به جستجو از دو مکانیسم استفاده می کند که در زیر شرح داده شده است:

1. این الگوریتم راه حل کاندید با بهترین ارزش برازندگی را ثبت کرده و از آن به عنوان عضوی از استخر جفت گیری استفاده می کند؛ با این مکانیسم اطمینان حاصل می شود که استخر جفت گیری شامل بخش بزرگی از راه حل های کاندید با خواص بهتر است.
2. در این الگوریتم اگر آنتی بادی کاندید دارای ارزش میل ترکیبی بیشتر از مقدار آستانه باشد؛ برای حفظ تنوع، احتمال اختصاص یافته به هر راه حلی در فاکتور کمتر از یک ضرب می شود؛ با این کار احتمال انتخاب آنتی بادی مورد نظر کاهش می یابد. چنین سازوکاری برای جلوگیری از تبدیل یک آنتی بادی خوب به یک آنتی بادی غالب صورت می گیرد.

4. یافته های پژوهش

در ادامه برای نمایش دادن کاربرد و اعتبارسنجی این الگوریتم از یک مثال عددی که توسط الگوریتم ژنتیک هم حل شده است، برای مقایسه استفاده کردیم. در این مثال ابتدا شخص تصمیم گیرنده که می تواند مدیر یا انباردار باشد، برای طبقه بندی موجودی تصمیم می گیرد و سپس نتایج با طبقه بندی بدست آمده از الگوریتم های ژنتیک و سیستم ایمنی مصنوعی مقایسه می شود. از آنجایی که سطوح مختلف از پارامتر ها به طور مستقیم بر کیفیت راه حل بدست آمده توسط الگوریتم تاثیر می گذارد ابتدا به تنظیم پارامتر های الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی پرداخته شده است. پس از یافتن بهترین پارامتر ها، کد مربوط به الگوریتم ژنتیک و سیستم ایمنی مصنوعی در نرم افزار متلب R2014 a اجرا و در نهایت متوسط و بهترین ارزش برازندگی در هر نسل از این دو الگوریتم در ادامه بدست آورده شده است. با توجه به عوامل و سطوح در نظر گرفته‌شده در جدول 1، به تعداد 2*2*3*3*2 برابر با 72 طرح خواهیم داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (1): مقدار سطوح عوامل

عوامل		سطوح عوامل
میزان تقاطع	Pc	0/85 -0/7
میزان جهش	Pm	0/05 – 0/1
آستانه تشابه	At	0/9 – 0/92 – 0/95
ضریب تعدیل تشابه	Aa	0/7 – 0/5 – 0/3
تعداد نسلها	Ng	500 – 300

مسئله را برای هر کدام از 72 طرح، 10 بار اجرا کرده، که یک نمونه از خروجی آن در زیر آورده شده است:

Elapsed time is 42/780721 seconds.

Fitnessbehtarinjava =0/9800

بعد از محاسبه اعداد بدست آمده از 10 اجرا و میانگین گیری آنها برای 72 طرح مدنظر، از بین جواب های بدست آمده از این محاسبات بهترین سازگاری را به عنوان بهترین جواب انتخاب می کنیم که بهترین جواب در این مسئله به صورت زیر بدست آمده است:

fitnessbehtarinjava=0/992

بر اساس این نتایج، بهترین مقادیر برای پارامتر های الگوریتم برای مسئله مورد نظر به بهترین برازندگی تعلق دارد که به شرح زیر است:

ng=500, pc=0/85, pm=0/05, at=0/9, aa=0/3

و در نهایت با استفاده از جدول آنالیز واریانس میزان تاثیر گذاری هر عامل و تاثیر متقابل آن ها روی یکدیگر در صحت طبقه بندی نهایی را بدست آورده که بر اساس این نتایج در جدول (2) سهم پارامتر aa برابر 13/19، سهم پارامتر pc برابر 0/46 و سهم پارامتر at برابر با 2/08 برآورد شده است.

جدول (2): آنالیز واریانس

منبع تغییرات	SS	مجموع مربعات با اثر متقابل	درجه های آزادی	میانگین مربعات	F	سهم هر پارامتر
aa	SSaa	3E-05	2	1.3E-05	47	13/194
pc	SSpc	9E-07	1	8.9E-07	3/3	0/463
at	SSat	4E-06	2	2E-06	7/5	2/0833

www.SID.ir

Archive of SID

23/842	85	2.3E-05	2	5E-05	SSaa-pc	aa-pc
28/009	100	2.7E-05	2	5E-05	SSpc-at	pc-at
24/306	44	1.2E-05	4	5E-05	SSaa-at	aa-at
8/1019		2.7E-07	58	2E-05	SSE	E
			71	0.0002	SST	T

5. نتیجه گیری وپیشنهادهای آتی

سیستم ایمنی مصنوعی از جمله متاهیوریستیک هایی است که با استفاده از آن می توان بسیاری از مسائل از جمله خوشه بندی داده ها، دسته بندی داده ها، مسائل بهینه سازی و ... را حل کرد. در این مقاله بعد از تشریح الگوریتم به حل یک مثال توسط آن در نرم افزار متلب پرداخته که با توجه به نتایج بدست آمده، در نهایت پارامتر های مثال مورد نظر تنظیم شده است. در ادامه به مقایسه کارایی دو الگوریتم ژنتیک و سیستم ایمنی مصنوعی برای یک مثال از مسئله طبقه‌بندی موجودی چند معیاره پرداخته شده است که محاسبات صورت گرفته، برتری الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی نسبت به الگوریتم ژنتیک را برای این مثال نشان می دهد. از مواردی که می تواند موجب توسعه پژوهش در این زمینه شود:

- ✓ استفاده از الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی برای سایر مسائل پیچیده
- ✓ در نظر گرفتن مسئله موجودی چندمعیاره با متغیر های فازی و حل آن توسط الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی

منابع

صفایی قادیکلائی،عبدالحمید، مدهوشی، مهرداد، اسماعیل زاده، منصور. (1387). تلفیق دو مدل طبقه بندی ABC چندمعیاره موجودی. مطالعات مدیریت بهبود و تحول، 57،بهار، 157- 133 .

رضایی، جعفر، اسماعیل زاده، منصور. (1389). مقایسه روش های مختلف طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی. فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی سال ششم، 17، تابستان ، 22-1.

www.SID.ir