

بهبود سیستم ایمنی مصنوعی با استفاده از منطق فازی

علیرضا رضوانیان، محمدرضا میبیدی

چکیده. سیستم ایمنی مصنوعی یک تکنیک الهام گرفته شده از مکانیزم های دفاعی سیستم ایمنی طبیعی می باشد که در زیر مجموعه الگوریتم های مبتنی بر جمعیت و تکاملی قرار می گیرد. در این الگوریتم بهترین آنتی بادی های به عنوان حافظه نگهداری می شوند و مجموعه آنتی بادی ها با انتخاب همزاد توسط ابرجهش به دنبال بهترین آنتی بادی ها (پاسخ ها) هستند. از مشکلات الگوریتم اولیه سیستم ایمنی مصنوعی، می توان به افتادن در بهینه محلی و پایین بودن سرعت همگرایی اشاره نمود. بنابراین تغییرات نرخ جهش (ابرجهش) در این الگوریتم به عنوان تنها و مهمترین عملگر تغییر که منجر به تغییرات سرعت همگرایی و خروج از بهینه های محلی می گردد، حائز اهمیت می باشد. در این مقاله با استفاده از منطق فازی، روش جدیدی برای بهبود تغییرات نرخ ابرجهش پیشنهاد شده است. آزمایشات بر روی چندین تابع محک استاندارد اعمال شده و نتایج روش پیشنهادی به همراه روش های متداول دیگر، حاکی از مطلوبیت روش پیشنهادی است.

۱. مقدمه

الگوریتم های سیستم ایمنی مصنوعی، روش هایی هستند که از نظریه های ایمنولوژی و مشاهدات زیستی مکانیزم های پیچیده دفاعی سیستم ایمنی طبیعی در موجودات زنده برای مقابله با عوامل بیماری زا الهام گرفته شده اند [۱]. این الگوریتم ها با داشتن ویژگی هایی چون قابلیت تنظیم پویای اندازه جمعیت، اکتشاف و استخراج فضای جستجو، یافتن چندین بهینه و قابلیت نگهداری راه حل های بهینه محلی، در حل خیلی از مسائل مورد توجه محققان فراوانی قرار گرفته و نسخه ها و توسعه های مختلفی بر الگوریتم اولیه داده شده است [۳]. اما با وجود مزایای زیاد این الگوریتم، چندین چالش نیز مانند: وجود ارتباط مابین تابع هزینه با اندازه جمعیت [۵]، تناسب مابین دقت و خطا در حالت بازنمایی دودویی، تکامل به صورت تغییرات جهش تصادفی، قرار گرفتن در بهینه محلی و نرخ همگرایی پایین وجود دارد [۶]. برخی از محققین نیز پیشنهاداتی را برای بهبود کارایی الگوریتم ارائه نموده اند. در [۷] یک نیمه عمر احتمالی برای هر سلول B معرفی شده است. در [۸] الگوریتمی صرفاً برای تنوع آنتی بادی ها در الگوریتم سیستم ایمنی ارائه شده است. استفاده از مفهوم نیچ در [۹] و [۱۱] برای بهبود عملکرد الگوریتم اولیه پیشنهاد شده است. در [۳] از نظریه آشوب در ترکیب با ابرجهش برای افزایش کارایی فرآیند تغییر استفاده شده است. استفاده از الگوریتم ژنتیک در [۱۷] ارائه شده است. در [۱۲] برای بهبود نتایج استفاده از جستجوی محلی در اجرای الگوریتم پیشنهاد شده است. در [۱۳] استفاده از اتوماتاهای یادگیر به منظور توازن تغییرات نرخ جهش مطرح گردید. اما عدم اطلاع از نرخ یادگیری مناسب در اتوماتای یادگیر باعث افزایش یا کاهش سرعت همگرایی و یا افتادن در بهینه محلی را منجر می گشت. بنابراین برای حل همین مشکل در [۱۸] استفاده از مفهوم همکاری پیشنهاد گردیده است. به طور مشابه در [۲۰] نیز از اتوماتای یادگیر سلولی بهره برده شده است. در این مقاله یک الگوریتم ترکیبی فازی با سیستم ایمنی مصنوعی ارائه شده است، بدین صورت که یک سیستم استنتاج فازی وظیفه توازن مابین جستجوی محلی و سراسری را با تنظیم تغییر نرخ ابرجهش بر عهده دارد و مشکلات الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی را تا حدودی حل می کند. در الگوریتم پیشنهادی با گرفتن بازخورد از اجرای الگوریتم با استفاده از منطق فازی می توان تغییرات نرخ ابرجهش را به خوبی در نظر گرفت و در واقع می توان حالت تطبیقی را در الگوریتم به وجود آورد.

در ادامه مقاله در بخش دوم سیستم ایمنی مصنوعی مختصراً معرفی شده است. بخش سوم به پیش زمینه ای در مورد منطق فازی اختصاص یافته است. الگوریتم پیشنهادی در بخش چهارم ارائه شده است و در نهایت در بخش پنجم نتایج روش پیشنهادی به همراه روش های دیگر توسط توابع محک استاندارد مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲. سیستم ایمنی مصنوعی

سیستم ایمنی مصنوعی یکی از شاخه های هوش محاسباتی در علوم کامپیوتر می باشد. محققان با الهام گرفتن از فرآیندهای سیستم ایمنی طبیعی موجودات زنده برای مقابله با پاتوژن ها، الگوریتم هایی برای حل مسائل کامپیوتری ارائه نموده اند [۱۴]. سیستم ایمنی طبیعی دارای سطوح مختلفی مانند ایمنی ذاتی و تطبیقی می باشد که الگوریتم هایی که در سیستم ایمنی مصنوعی طراحی شده اند بیشتر ایمنی تطبیقی را مدل کرده اند [۱۸] و این الگوریتم ها برای حل طیف وسیعی از مسائل مختلف از جمله بهینه سازی [۱۰]، شناسایی الگو، دسته بندی،

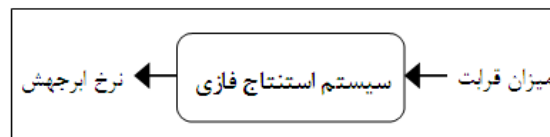
خوشه‌بندی، تشخیص نفوذ، طراحی مدارهای آنالوگ [۲۱] و مسائل دیگر کامپیوتری استفاده شده‌اند [۱۵]. در این رابطه از ویژگی‌های مهم سیستم ایمنی مصنوعی می‌توان به تطبیق‌پذیری، استخراج ویژگی، تحمل خودی و تفکیک‌پذیری اشاره نمود. در الگوریتم ایمنی مصنوعی، جهش به عنوان تنها و مهمترین عملگر تغییر به صورت موثر عمل می‌کند که از آن به ابرجهش یاد می‌شود و به صورت احتمالی، با نسبت قرابت (نزدیکی) میان آنتی‌بادی و آنتی‌ژن استفاده می‌شود. جمعیت با نسبت قرابت بالا کمترین نرخ جهش و آنتی-بادی‌های با قرابت پایین، نرخ جهش بالا را متحمل می‌شود. بنابراین در الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی جهش به عنوان تنها و مهمترین عملگر بایستی صورت خیلی موثری عمل نماید [۱۴].

۳. سیستم‌های فازی

منطق فازی، به عنوان مفهوم جدیدی در مقابل روش‌های متداول برای طراحی و مدلسازی سیستم‌های مبتنی بر ریاضیات و احتمالات پیشرفته و پیچیده به کار می‌رود. در طراحی سیستم فازی از مقادیر و قوانین مبتنی بر متغیرهای زبانی یا به عبارت دیگر از دانش فرد خبره استفاده می‌شود. سیستم‌های کنترل مبتنی بر منطق فازی تعمیمی از منطق بولی محسوب می‌شوند. از آنجا که در منطق سنتی هر چیزی به صورت دودویی (۰ یا ۱) بیان می‌شود، بنابراین در منطق فازی، گزاره‌های صحیح بولی با درجه‌ای از درستی بیان می‌شوند. تابع عضویت در مجموعه فازی چگونگی نگاشت هریک از نقاط فضا به درجه عضویت که مقداری بین ۰ تا ۱ می‌باشد، را مشخص می‌کند. در سیستم‌های فازی به مرحله پردازش، موتور استنتاج گفته می‌شود که براساس مجموعه‌ای از قوانین فازی به صورت IF-THEN عمل می‌کنند. برای استنتاج دو شیوه عمده به صورت مدل استنتاج فازی ممدانی و استنتاج فازی تاکاگی سوگنو وجود دارد. این دو روش در فازی‌سازی ورودی-ها و عملگرهای فازی یکسان هستند اما از نظر خروجی، متفاوت عمل می‌کنند. در روش استنتاج فازی ممدانی، خروجی به صورت توابع عضویت مجموعه فازی مورد نظر است اما در روش استنتاج تاکاگی سوگنو خروجی عضو تابعی به صورت خطی یا ثابت می‌باشد [۱۹]. در روش پیشنهادی که در بخش بعدی معرفی شده است از روش استنتاج فازی ممدانی بهره برده شده است.

۴. روش پیشنهادی: سیستم ایمنی مصنوعی فازی

در این بخش روش پیشنهادی برای بهبود الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی شرح داده شده است. پیشنهاد ما برای بهبود الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی، تنظیم مقدار تغییرات نرخ جهش توسط قوانین فازی است. نرخ جهش در الگوریتم استاندارد و برخی از نسخه‌های گسترش یافته همواره ثابت انگاشته شده و معمولاً با عکس میزان قرابت به صورت تطبیقی صورت می‌پذیرد. چنانچه گفته شد در مواقعی که میزان قرابت آنتی‌بادی‌ها نسبت به حافظه (قرابت بهترین آنتی‌بادی‌ها) از مقدار بالایی برخوردار نیست، بایستی از مقادیر بالا برای جهش استفاده نمود و به طور مشابه در زمانی که میزان قرابت آنتی‌بادی‌ها نسبت به حافظه (میزان قرابت بهترین آنتی‌بادی‌ها) از مقدار پایینی برخوردار است بایستی از مقادیر پایین برای جهش استفاده شود. در روش پیشنهادی برای مشخص نمودن کیفیت مقدار قرابت آنتی‌بادی‌ها از میزان تعلق مقدار قرابت آنتی‌بادی به مجموعه‌های فازی استفاده می‌شود. در ایجاد قوانین مورد نظر از مقادیر بیشینه و کمینه آنتی‌بادی‌های موجود استفاده می‌شود که باعث پویایی دامنه توابع عضویت در روند تکامل نیز خواهد بود. ساختار کلی سیستم استنتاج فازی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: سیستم استنتاج فازی پیشنهادی

برای سیستم استنتاج فازی پیشنهادی، ۵ مجموعه فازی برای کیفیت مقدار قرابت آنتی‌بادی در نظر گرفته شده است که به ترتیب به صورت "خیلی کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "خیلی زیاد" تعریف شده‌اند. با توجه به موارد یاد شده می‌توان ۵ قانون مختلف را در نظر گرفت که با افزایش مقدار قرابت آنتی‌بادی‌ها، نرخ تغییرات جهش کاهش یافته و به عبارت دیگر، رفته رفته از میزان جستجوی سراسری کم شده و جستجوی محلی افزایش یابد. مجموعه قوانین فازی در فرآیند فازی‌سازی ورودی‌ها و غیرفازی‌سازی خروجی‌ها به صورت یکسانی انتخاب و به عنوان (VERY LOW, LOW, MEDIUM, HIGH, VERY HIGH) تعریف شده‌اند که در جدول ۱ لیست شده است. همچنین توابع عضویت به صورت مثلی در نظر گرفته شده است. و برای غیرفازی‌سازی از روش میانگین مراکز استفاده شده است.

جدول ۱: قوانین فازی اگر-آنگاه پیشنهادی

Rules	Input (Affinity)	Output (Pm)
I	Very Low	Very High
II	Low	High
III	Medium	Medium
IV	High	Low
V	Very High	Very Low

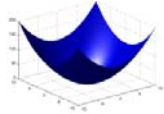
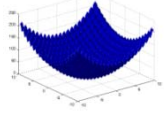
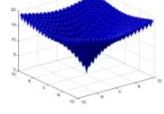
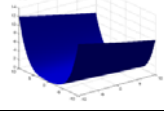
حال با توجه به قوانین مذکور می توان الگوریتم پیشنهادی را به صورت مراحل زیر در نظر گرفت:

۱. مقداردهی اولیه آنتی بادی ها
۲. محاسبه میزان قرابت آنتی بادی ها
۳. انتخاب بهترین آنتی بادی ها و تولید همزاد
۴. مشخص کردن مقادیر قرابت بیشینه/کمینه و اعمال قوانین فازی
۵. محاسبه نرخ ابر جهش جدید با استفاده از غیر فازی سازی
۶. جهش آنتی بادی ها با توجه به مقدار جدید نرخ ابر جهش
۷. به روز رسانی آنتی بادی های حافظه با بهترین آنتی بادی های حاصله (در هر گروه به طور مجزا)
۸. جایگزینی آنتی بادی های ضعیف با آنتی بادی های جدید (حذف قسمتی از آنتی بادی های با شایستگی پایین و متراکم)
۹. ادامه مراحل بالا (۲ تا ۹) تا رسیدن به شرایط توقف مورد نظر

۵. نتایج آزمایشات

جهت ارزیابی روش پیشنهادی آزمایشات بر روی چهار تابع محک استاندارد صورت گرفته است. توابع استفاده شده عبارتند از توابع اسفر، رستریجین، آکلی و روزنبرک که به ترتیب در جدول ۲ ارائه شده اند [۱۸].

جدول ۲: توابع محک استاندارد برای آزمایشات

نمودار	بازه	ضابطه تابع
	$[-5.12, 5.12]^n$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$
	$[-5.12, 5.12]^n$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2 \pi x_i) + 10)$
	$[-32, 32]^n$	$f_3(x) = 20 + e - 20e^{-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}} - e^{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2 \pi x_i)}$
	$[-30, 30]^n$	$f_4(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2)$

در میان این توابع دو تابع اسفر و روزنبرک به صورت توابع یک وجهی (تک بهینه) و توابع رستریجین و آکلی به صورت توابع چند وجهی (چند بهینه) شناخته می شوند. این توابع همگی دارای بهینه سراسری با مقدار ۰ هستند. اندازه جمعیت اولیه و تعداد گام ها به ترتیب ۲۰ و ۵۰۰ در نظر گرفته شده است. از مقدار بهترین نتایج برای مقایسه روش های الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی استاندارد با عنوان SAIS [۲۲]، الگوریتم سلول B با عنوان BCA [۲۳]، الگوریتم همزاد با عنوان CSA [۲۴]، الگوریتم گزینش همزاد تطبیقی با عنوان ACSA [۱۶]، الگوریتم ژنتیک استاندارد با عنوان SGA [۴]، شبیه سازی حرارت با عنوان SA [۲]، و سیستم ایمنی مصنوعی فازی با عنوان FAIS استفاده شده است. همچنین به منظور مقایسه تاثیر تعداد قوانین فازی بر اجرای الگوریتم، دو حالت با ۲ قانون فازی با عنوان FAIS_2 و ۵ قانون فازی با عنوان FAIS_5 در نظر گرفته شده است.

ابعاد توابع مورد آزمایش به صورت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ بعدی در نظر گرفته شده است. نتایج ارائه شده با توجه به میانگین ۱۰ بار اجرای الگوریتم بدست آمده است. نتایج این آزمایشات با توجه شرایط مذکور در مقایسه با دیگر روش‌ها به ترتیب در جداول ۳ تا ۶ برای اسفر، رستریجین، آکلی و روزنبرک ارائه شده است. مقادیر مطلوب برای جدول به صورت ضخیم مشخص شده است.

جدول ۴: نتایج روش پیشنهادی و الگوریتم‌های دیگر برای تابع رستریجین

ابعاد الگوریتم	بهترین (بعد ۱۰)	بهترین (بعد ۲۰)	بهترین (بعد ۳۰)
SAIS	16.6121	82.8412	209.3208
BCA	8.3351	37.2728	60.9751
CSA	16.1973	43.2896	129.8958
SGA	2.1654	6.3786	1.69879
SA	8.6157	7.2951	1.7506
FAIS_2	5.72e-15	6.29e-13	5.93e-11
FAIS_5	3.54e-15	4.75e-14	8.86e-12

جدول ۳: نتایج روش پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر برای تابع اسفر

ابعاد الگوریتم	بهترین (بعد ۱۰)	بهترین (بعد ۲۰)	بهترین (بعد ۳۰)
SAIS	1.35e-01	1.1706	3.7199
BCA	2.56e-03	1.6721	2.2165
CSA	5.29e-02	2.6723	3.0241
SGA	1.19e-04	2.19e-03	9.10e-2
SA	0.1115	1.2278	7.1849
FAIS_2	1.83e-74	5.73e-58	8.68e-52
FAIS_5	1.24e-89	3.86e-83	2.64e-78

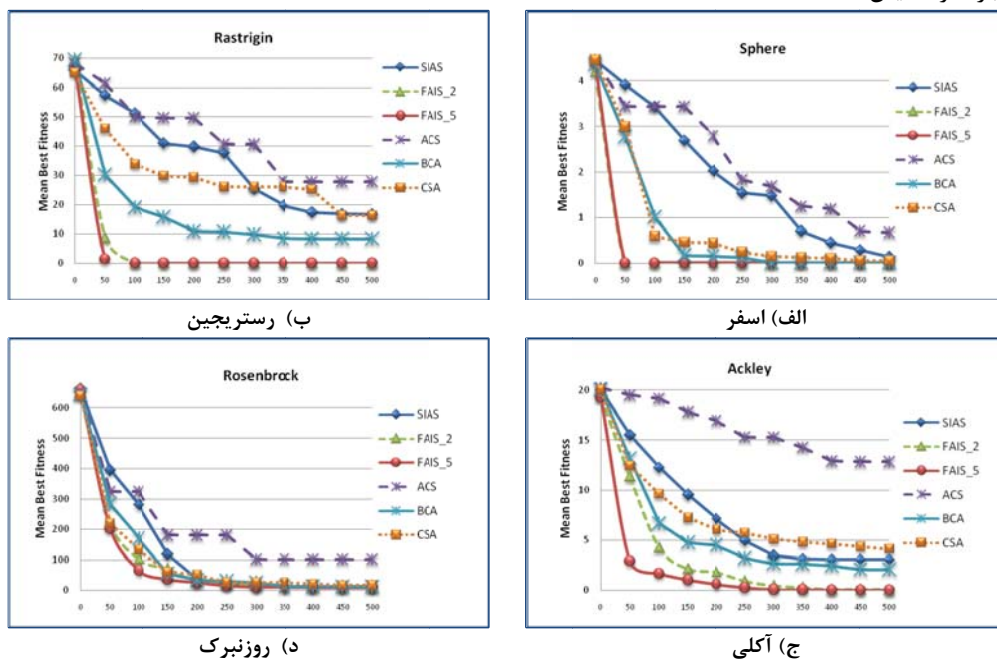
جدول ۶: نتایج روش پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر برای تابع روزنبرک

ابعاد الگوریتم	بهترین (بعد ۱۰)	بهترین (بعد ۲۰)	بهترین (بعد ۳۰)
SAIS	11.6326	19.9267	29.1127
BCA	10.8682	114.2267	237.5752
CSA	15.1972	46.36698	145.2258
SGA	4.1375	53.8962	136.632
SA	18.4986	204.2497	353.4931
FAIS_2	8.6827	18.7993	28.9642
FAIS_5	8.7493	18.7635	28.7653

جدول ۵: نتایج روش پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر برای تابع آکلی

ابعاد الگوریتم	بهترین (بعد ۱۰)	بهترین (بعد ۲۰)	بهترین (بعد ۳۰)
SAIS	3.0271	4.97139	6.1169
BCA	2.0449	3.7837	7.7648
CSA	4.1063	6.8359	12.8462
SGA	2.9882	2.9917	3.1437
SA	4.9596	5.1459	5.2694
FAIS_2	3.56e-15	2.12e-14	1.86e-13
FAIS_5	3.56e-15	7.14e-15	4.94e-14

به جهت مقایسه‌ی بهتر روش پیشنهادی و روش‌های مذکور در ادامه در شکل ۲ نیز نمودار مقدار تابع شایستگی برای حالت ۱۰ بعدی با میانگین ۱۰ بار اجرا نمایش داده شده است.



شکل ۲: نمودار مقایسه میزان شایستگی روش‌های مختلف و پیشنهادی برای توابع استاندارد

چنانچه از نتایج جداول و نمودارها مشاهده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی تحت عنوان سیستم ایمنی مصنوعی فازی ضمن برخورداری از بازخورد نتایج، نرخ ابرجهش را با توجه به قوانین فازی مشخص شده تغییر می‌دهد. این ویژگی رفتار متناسب‌تری را در اجرای الگوریتم به وجود آورده و با اعمال قوانین فازی در ابتدا جستجوی سراسری بیشتر و در ادامه تکامل کاهش یافته و به صورت محلی پیگیری می‌شود. همچنین با بررسی نتایج حاصله می‌توان به این مهم دست یافت که با افزایش ابعاد فضای جستجو، نتایج بدست آمده بهتر از الگوریتم‌های دیگر عمل می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید برای بهبود الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی با استفاده از سیستم استنتاج فازی ارائه شد. در کلیه روش‌های مبتنی بر سیستم ایمنی مصنوعی نرخ تغییرات جهش، به عنوان تنها و مهمترین عملگر تکاملی ثابت بوده و با توجه به عکس مقدار قرابت میان آنتی‌بادی‌ها صورت می‌پذیرد. در روش پیشنهادی قوانین فازی با توجه به بازخورد تغییرات کیفیت آنتی‌بادی‌ها و مقدار قرابت میان آنتی‌بادی‌ها، نرخ تغییرات جهش را به خوبی به‌هنگام می‌کنند. در واقع سیستم استنتاج فازی استفاده شده موازنه‌ای میان جستجوی سراسری و محلی برقرار می‌کند. نتایج آزمایشات حاکی از موفقیت روش پیشنهادی در بهبود نتایج در ابعاد بالا می‌باشد. همچنین کارایی الگوریتم پیشنهادی با افزایش ابعاد نیز در مقایسه با دیگر روش‌ها به خوبی مشاهده گردید.

مراجع

- [1] N. Leandro and J. T de Castro, *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach*, Springer Verlag, 2002.
- [2] S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt, M.P. Vecchi, *Optimization by Simulate Annealing*, Science, Vol. 220, Pp. 671-680, 1983.
- [3] H. He, F. Qian, and W. Du, *A Chaotic Immune Algorithm with Fuzzy Adaptive Parameters*, Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, Vol. 3, No. 6, Pp.695-705, 2008.
- [4] David B Fogel, and Zbigniew Michalwicz, *Evolutionary Computation 1 - Basic Algorithms and Operators*, Bristol, UK, Institute of Physics (IoP) Publishing, 2000.
- [5] V. Cutello et al., *Clonal Selection Algorithm with Dynamic Population Size for Bimodal Search Spaces*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4221, Pp. 949, 2006.
- [6] L. Liu, Z. Cai, and H. Chen, *Immunity Clone Algorithm With Particle Swarm Evolution*, Journal of Central South University of Technology Vol. 13, No. 6, Pp. 703-706, 2006.
- [7] V. Cutello, G. Nicosia, and M. Pavone, *A Hybrid Immune Algorithm with Information Gain For The Graph Coloring Problem*, Lecture Notes in Computer Science, Pp. 171-182, 2003.
- [8] M. O. Hong-wei and J. I. N. Hong-zhang, *The Modified Immune Diversity Algorithm Used In Function Optimization*, Journal of Harbin Engineering University, 2004.
- [9] Z. H Zhang and X. Y Huang, *Novel Immune Algorithm and Its Application to Multi-Modal Function Optimization*, Kongzhi Lilun yu Yingyong, Vol. 21, No. 1, Pp. 17-21, 2004.
- [10] Maoguo Gong, Licheng Jiao, Xiangrong Zhang, *A Population-based Artificial Immune System for Numerical Optimization*, Neurocomputing, Vol. 72, No. 1-3, Pp. 149-161, Dec. 2008.
- [11] M. Li and J. Kou, *Crowding With Nearest Neighbors Replacement for Multiple Species Niching and Building Blocks Preservation in Binary Multimodal Functions Optimization*, Journal of Heuristics, Vol. 14, No. 3, Pp. 243-270, 2008.
- [12] R. Javazadeh, M. R. Meybodi, *Memetic Artificial Immune Systems*, Proceedings of The Third Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, University of Yazd, Yazd, Iran, 15-17 July 2009.
- [13] A. Rezvani, M. R. Meybodi, *A New Method for Function Optimization using Artificial Immune System and Learning Automata*, Proceedings of The Third Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, University of Yazd, Yazd, Iran, 15-17 July 2009.
- [14] J. Timmis, A. Hone, T. Stibor, E. Clark, *Theoretical Advances in Artificial Immune Systems*, Theoretical Computer Science, Vol. 403, No. 1, Pp. 11-32, 2008.
- [15] Dipankar Dasgupta, *Artificial Immune Systems and their Applications*. Springer Verlag, 1998.
- [16] Simon M. Garrett, *Parameter-Free, Adaptive Clonal Selection*, Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computing (CEC 2004), Portland Oregon, USA, 2004.
- [17] Dai Yongshou, Li Yuan, Wei Lei, Wang Junling & Zheng Deling, *Adaptive Immune-Genetic Algorithm for Global Optimization to Multivariable Function*, Journal of Systems Engineering and Electronics, Vol. 18, No. 3, Pp.655-660, 2007.
- [18] A. Rezvani, M. R. Meybodi, *A New Hybrid Optimization Method (Cooperative Artificial Immune System + Learning Automata)*, Proceedings of the 15th Annual CSI Computer Conference (CSICC'10), Tehran, Iran, Feb. 20-22, 2010.
- [19] M. H. Noroozi Beyrami, and M. R. Meybodi, *Improving Particle Swarm Optimization using Fuzzy Logic*, Proceedings of the Second Iranian Data Mining Conference, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 11-12 Nov. 2008.
- [20] R. Javazadeh, M. R. Meybodi, *A New Hybrid Optimization Method (Artificial Immune System + CLA)*, Proceedings of the 15th Annual CSI Computer Conference (CSICC'10), Tehran, Iran, 20-22 Feb. 2010.
- [21] G. Nicosia, S. Rinaudo, and E. Sciacca, *An Evolutionary Algorithm-Based Approach to Robust Analog Circuit Design Using Constrained Multi-Objective Optimization*, Knowledge-Based Systems, 2007.
- [22] Vincenzo Cutello and Giuseppe Nicosia, *The Clonal Selection Principle for In Silico and In Vivo Computing*, Recent Developments in Biologically Inspired Computing. Hershey, London, Melbourne, Singapore: Idea Group Publishing, 2005.
- [23] J. Timmis, C. Edmonds, J. Kelsey, *Assessing the Performance of Two Immune Inspired Algorithms and a Hybrid Genetic Algorithm for Function Optimisation*, Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2004), Portland, Oregon, USA, 2004.
- [24] L. N. de Castro and F. J. van Zuben, *Learning and Optimization using the Clonal Selection Principle*, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Volume 6, No. 3, Pp. 239-251, June 2002.

علیرضا رضوانیان^{*}، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان
آدرس پست الکترونیکی: rezvan@iauh.ac.ir

محمدرضا میبودی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران
آدرس پست الکترونیکی: mmeybodi@aut.ac.ir

^{*} سخنران