

# بررسی و ارزیابی انواع الگوریتم های بهینه سازی در ترکیب بهینه ترم های توابع کسری وابسته به زمین

بهزاد محمدنظر، میثم داودآبادی فراهانی

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی سنجش از دور، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی حکمت قم.

<sup>۲</sup> استادیار و عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی حکمت قم. (نویسنده مسئول)

## چکیده

استفاده از توابع کسری، در غیاب اطلاعات افمیز مدار ماهواره و هندسه داخلی سنجنده، یکی از بهترین روش ها برای زمین مرجع سازی تصاویر ماهواره ای و استخراج اطلاعات مکانی از تصاویر ماهواره ای است. اما وابستگی این مدل ها به تعداد زیادی نقاط کنترل زمینی، مشکلات عددی موجود در حل آنها و مشکل انتخاب ترم های سازنده ساختار تابع کسری را می توان از عمده ترین ضعف های این روش برشمرد. استفاده از الگوریتم های بهینه سازی، یکی از راهکارهای مناسب رفع این ضعف ها است. به همین دلیل از الگوریتم های بهینه سازی مختلف، برای کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری وابسته به زمین استفاده شده است. همچنین سازوکار هریک از این الگوریتم ها با یکدیگر متفاوت است، میزان کارایی و خصوصیات مختلف این الگوریتم ها در کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری وابسته به زمین متفاوت است. در این تحقیق به بررسی توانایی های سه الگوریتم بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبود یافته و ازدحام ذرات بهبود یافته. اختلاف دقت کمتر از ۰,۴ پیکسل در نتایج هر یک از الگوریتم های بهینه سازی، ۱۰ تا ۱۲ برابر بودن سرعت الگوریتم ژنتیک بهبود یافته نسبت به دو الگوریتم دیگر، به ترتیب برتری ۴۵/۲۵ و ۲۷ درصدی درجه آزادی الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بهبود یافته نسبت به الگوریتم ژنتیک بهبود یافته و ژنتیک و پراکندگی نسبتا یکسان نتایج هر یک از الگوریتمها در ۱۰ بار اجرای برنامه، حاکی از آن است که دقت هر سه الگوریتم بهینه سازی نسبتا یکسان، سرعت الگوریتم ژنتیک بهبود یافته بیشتر، تعداد نقاط کنترل مورد نیاز الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته کمتر از دو الگوریتم دیگر و قابلیت اطمینان به نتایج هر یک از الگوریتم های بهینه سازی به منظور کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری وابسته به زمین، یکسان است.

**کلیدواژه ها:** توابع کسری، زمین مرجع سازی تصاویر ماهواره ای، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ژنتیک بهبود یافته، الگوریتم

ازدحام ذرات بهبود یافته

## مقدمه

یکی از مهم ترین اطلاعات مورد نیاز درباره مدیریت منابع، اطلاعات مکانی است. در سال های اخیر، افزایش دسترسی به تصاویر هوایی و ماهواره ای با حد تفکیک مکانی بالا، باعث شده تا فتوگرامتری و سنجش از دور به عنوان یکی از قدرتمندترین ابزارها درباره استخراج اطلاعات مکانی دقیق از محیط پیرامون، شناخته شوند.

استفاده از تصاویر ماهواره ای جهت تهیه اطلاعات مکانی و کاربرد های سنجش از دوری نسبت به سایر روش ها (نقشه برداری مستقیم و تصاویر هوای) بیشتر طرفدار پیدا کرده است زیرا می توان در مدت زمان کوتاه تری اطلاعات مکانی زیادی را جمع آوری کنیم و نسبت به روش های هوای از نقطه نظر زمانی جهت اخذ تصویر (خصوصاً در زمان های بحرانی) مزیت های بسیاری دارد.

تصحیح هندسی تصاویر، اولین مرحله استخراج اطلاعات مکانی از تصاویر هوایی و ماهواره ای است که هدف آن برقراری ارتباط بین دو فضای تصویر و زمین است. برای تصحیح هندسی تصویر، از معادلات ریاضی استفاده میشود که به دو دسته معادلات پارامتریک و معادلات و غیرپارامتریک تقسیم میشوند.

معادلات پارامتریک، هندسه تصویر را در لحظه تصویربرداری، بازسازی می کنند که یکی از شناخته شده ترین مدل ها در این حوزه به منظور تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای، مدل پارامترهای مداری است.

معادلات غیرپارامتریک، پارامترهای ارتباط بین دو فضا را از طریق پرازش یک رویه به مدل فیزیکی یا مجموعه ای از نقاط کنترل بدست می آورند.

معادلات پارامتریک، وابسته به اطلاعات داخلی سنجنده و معادلات غیرپارامتریک، مستقل از این اطلاعات هستند. در نتیجه، مدل های غیرپارامتریک نیازی به اطلاعات ماهواره ندارند و وابسته به نوع سنجنده نمی باشند و پیچیدگی های محاسباتی کمتری دارند. بنابراین به علت مزیت های ذکر شده برای مدل های غیرپارامتریک، اغلب جوامع فتوگرامتری و سنجش از دور تمایل به استفاده از این مدل ها برای تصحیح هندسی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا دارند. اما به هر حال بایستی این نکته را مد نظر داشت که عیب اصلی تبدیلات غیرپارامتریک، نیاز به تعداد کافی نقاط کنترل زمینی با توزیع مناسب جهت انجام تصحیح هندسی تصاویر در روش زمین وابسته<sup>۱</sup> می باشد. بنابراین مدل های غیرپارامتریک حساسیت زیادی نسبت به توپوگرافی زمین، تعداد و توزیع نقاط کنترل و خطای آنها دارند.

توابع کسری با دو رویکرد قابل حل هستند: ۱- رویکرد مستقل از زمین ۲- رویکرد وابسته به زمین

در رویکرد مستقل از زمین، تابع انتقال مناسب جهت برقراری ارتباط فضای تصویر و زمین موجود است (توسط کمپانی تولیدکننده تصویر ماهواره ای به استفاده کنندگان داده میشود) و در روش وابسته به زمین از نقاط کنترل، به منظور برآورد ضرایب توابع کسری استفاده میشود.

توابع کسری در ساختار کامل [درجه سوم با مخرج های نامساوی]، دارای ۸۰ پارامتر مجهول هستند. تعداد زیاد ترم های مجهول توابع کسری از یک سو، باعث تعدد نقاط کنترل مورد نیاز جهت حل پارامترهای مجهول این توابع در رویکرد وابسته به زمین شده و از سوی دیگر باعث ایجاد خطای پارامترهای اضافه میشود. دو راهبرد برای مواجهه با این مشکلات وجود دارد: ۱- کاهش اثر همبستگی چندگانه میان پارامترها از طریق پایداری سازی ماتریس ضرایب، ۲- حذف پارامترهای غیرضروری و یافتن ساختار بهینه توابع کسری. مزیت راهبرد دوم نسبت به راهبرد اول این است که در روش اول از نقاط کنترل به صورت بهینه استفاده نمیشود. به این معنا که همچنان تعداد نقاط کنترل زیادی برای برآورد تمامی ۸۰ پارامتر مدل

---

<sup>۱</sup> . terrain dependent.

نیاز است و تنها اثر همبستگی این پارامترها کاهش مییابد. اما در راهبرد دوم، علاوه بر کاهش این اثر، تعداد نقاط کنترل مورد نیاز نیز به سبب کاهش پارامترهای مدل، تقلیل مییابد. از این رو بایستی بنابر ساختار توپوگرافی منطقه، هندسه تصویر، توزیع و تعداد نقاط کنترل، ترم های بهینه تابع کسری کشف و ترم های اضافی حذف شوند. این امر، باعث کاهش تعداد نقاط کنترل مورد نیاز جهت حل تابع انتقال میان دو فضا شده و یکی از بهترین روش ها به منظور جلوگیری از خطای پارامترهای اضافه است. با توجه به اینکه ترم های توابع کسری دارای تفسیر فیزیکی نیستند، یکی از مهمترین و بهترین روش ها درباره کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری، استفاده از الگوریتم های بهینه سازی است.

الگوریتم ژنتیک الگوریتم، الگوریتم ازدحام ذرات توسعه یافته و الگوریتم ژنتیک توسعه یافته سه مورد از مهمترین و کارآمدترین الگوریتم ها در اینباره هستند. به دلیل ساختار متفاوت هر یک از الگوریتم های فوق، توانایی آنها در کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری از جهات مختلف با یکدیگر متفاوت است. جمع بندی و بررسی تحقیقات گذشته درباره ارزیابی توانایی الگوریتم های بهینه سازی و مقایسه آنها نشان میدهد که جنبه های محدودی از خصوصیات این الگوریتم ها در کشف ترکیب بهینه توابع کسری مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و بررسی جامع خصوصیات این الگوریتم ها از جهات مختلف و ارزیابی نقاط ضعف و قوت آنها میتواند بسیار کارآمد باشد. هدف این تحقیق آن است که شناخت دقیق و همه جانبه بر سه الگوریتم بهینه سازی ذکر شده داشته باشد تا کاربران مختلف با تکیه بر این شناخت، الگوریتم مناسب جهت حل مسئله مورد نظر خود را انتخاب کنند.

## توابع کسری

توابع کسری، حاصل تقسیم دو چند جمله ای سه بعدی بوده و در حوزه ی تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای به دو صورت مستقیم و معکوس مورد استفاده قرار می گیرند. در حالت مستقیم، مختصات تصویری  $[C, \Gamma]$  از تقسیم دو چند جمله ای سه بعدی بر اساس مختصات نقاط در فضای شی بدست می آیند [رابطه ۱] و در حالت معکوس، مختصات زمینی  $[Y, X]$  از تقسیم دو چند جمله ای سه بعدی بر اساس مختصات تصویری و ارتفاع زمینی نقاط بدست می آیند [رابطه ۲].

رابطه ۱:

$$r = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)}, \quad c = \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)}$$

رابطه ۲:

$$X = \frac{P_5(r, c, Z)}{P_6(r, c, Z)}, \quad Y = \frac{P_7(r, c, Z)}{P_8(r, c, Z)}$$

در روابط فوق  $P_i$  معادله چند جمله ای سه بعدی است و به فرم زیر است.

رابطه ۳:

$$P_i = \sum_{a=0}^n \sum_{b=0}^{n-a} \sum_{c=0}^{n-a-b} A_{abc} U^a V^b W^c$$

در رابطه ۳، ضریب هر ترم معادله چند جمله ای و  $n$ ، درجه تابع چند جمله ای را نشان میدهد. در رابطه ۱ و ۲ نیز  $[C, \Gamma]$ ، مختصات تصویری نرمال شده و  $[Z, Y, X]$ ، مختصات زمینی نرمال شده هستند. نرمال کردن مختصات به دلیل افزایش استحکام عددی محاسبات و بهبود دقت نتایج، در فتوگرامتری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

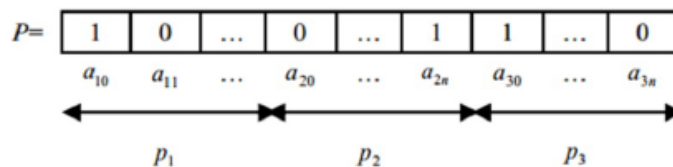
## بهینه سازی توابع کسری با استفاده از الگوریتم ژنتیک استاندارد

نخستین بار جان هالند الگوریتم ژنتیک را معرفی کرد. این الگوریتم یک روش فرااکتشافی است که به طور کلی الگوریتم ژنتیک، یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش های آن به صورت تصادفی انتخاب میشوند.

یکی از مهمترین مفاهیم در الگوریتم ژنتیک، کروموزوم است؛ که مجموعه کروموزوم ها، بیان کننده مجموعه راه حل های ممکن، جهت رسیدن به جواب بهینه مسئله مورد نظر است. در واقع هر کروموزوم، زیرمجموعه ای از فضای راه حل است که الگوریتم ژنتیک به دنبال بهترین راه حل [بهترین کروموزوم] است.

از کنار هم قرار گرفتن چند ژن کروموزوم تشکیل میشود و مجموع خصوصیات ژن ها، بیان کننده خصوصیت کلی کروموزوم مورد نظر است. در نتیجه، اولین قدم در پیاده سازی الگوریتم ژنتیک، تعیین و کد گذاری ژن ها و تشکیل کروموزوم است. پس از تولید چند کروموزوم، جمعیت اولیه ایجاد خواهد شد. سپس جهت اعتبارسنجی، برای هر یک از کروموزوم ها مقدار تابع هزینه بدست می آید و کروموزوم ها بر اساس مقدار هزینه مرتب میشوند.

به جهت تشکیل جمعیت نسل بعد، بایستی چند زوج کروموزوم به عنوان والدین نسل بعد انتخاب شده و اقدام به تولید فرزند نمایند. این انتخاب به گونه ای انجام میشود که کروموزوم های شایسته تر احتمال انتخاب بیشتر و کروموزوم های دارای شایستگی کمتر، احتمال انتخاب کمتری دارند. سپس بر روی کروموزوم های انتخاب شده، عملیات وراثت و جهش اعمال میشود و جمعیت نسل بعد، به تعداد جمعیت اولیه و با بیشترین شایستگی تشکیل میشود. این مراحل به صورت تکراری و تا رسیدن به شرط توقف انجام میشود. پس از رسیدن به شرط توقف، بهترین کروموزوم به عنوان راه حل بهینه مسئله مورد نظر شناخته میشود. در استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت کشف ترم های بهینه توابع کسری، ژنها بیان کننده ترمهای توابع کسری هستند. هر یک از ژنها، با اعداد ۰ و ۱ و به صورت تصادفی مقداردهی میشوند، که عدد ۱، نشاندهنده حضور ترم و عدد ۰ نشاندهنده عدم حضور ترم مورد نظر است. شکل زیر، نمونه ای از کروموزوم تولید شده برای کشف ترکیب بهینه ترم های تابع کسری است که با اعداد ۰ و ۱ کد گذاری شده است.



شکل ۱. نمونه کروموزوم تولید شده در ژنتیک برای کدگذاری ترم های توابع کسری

هر کروموزوم، نشان دهنده ترکیب یکتایی از ترم های توابع کسری است که توسط تابع ارزیاب مورد ارزیابی قرار میگیرد. در ادامه، سایر مراحل الگوریتم ژنتیک تا زمان رسیدن به شرط توقف انجام شده و در نهایت شایسته ترین کروموزوم، به عنوان ترکیب بهینه ترم های توابع کسری مورد نظر انتخاب میشود. جدول ۱، پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک استاندارد مورد استفاده در این مقاله را نشان میدهد.

جدول ۱. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک استاندارد

Population size	50
Chromosomes length	59
Selection method	Tournament selection
Crossover method	uniform crossover
Mutation probability	% 25 of all chromosomes

### بهینه سازی توابع کسری با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته

الگوریتم ژنتیک بهبود یافته در سال ۲۰۱۵ توسط جنتی و ولدان زوج معرفی شد. در این الگوریتم، از اصلاح ژنتیکی، برای افزایش سرعت الگوریتم ژنتیک استاندارد استفاده شده است. اصلاح ژنتیکی، تغییر آرایش ژنتیکی یک موجود به منظور قرار دادن برخی ویژگی های مورد نظر در موجود میزبان است؛ که به موجودات تولید شده از طریق این فرآیند، تراریخته یا موجودات اصلاح ژنتیکی شده میگویند.

در الگوریتم ژنتیک استاندارد، تمام خصوصیات یک کروموزوم به صورت همزمان و در قالب یک عدد ( $\frac{1}{RMSE}$ ) ارزیابی میشوند. بنابراین نیاز به شناسایی مجزای ژنهای با شایستگی بیشتر و استفاده از آنها در ساختار کروموزوم احساس میشود. الگوریتم ژنتیک بهبود یافته، ژن های با شایستگی بیشتر را کشف کرده و با قراردادن این ژنها در ساختار کروموزوم، سعی در افزایش سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیک استاندارد دارد. روش کار به این صورت است که بعد از هر تکرار، درصدی از فرزندان (کروموزوم ها) با بیشترین مقادیر شایستگی به اضافه درصدی از فرزندان با شایستگی پایین انتخاب میشوند و به ترتیب در دو مجموعه  $S^{qualified}$  و  $S^{unqualified}$  ذخیره میشوند. سپس ضریب کیفیت QC برای تعیین کیفیت هر ژن به شکل زیر تعیین میشود.

رابطه (۴)

$$QC(i) = \frac{N_i^{qualified} - N_i^{unqualified}}{\sum_{k=1}^n (N_k^{qualified} - N_k^{unqualified})}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

که در آن  $QC(i)$ ، ضریب کیفیت I-امین ژن و  $n$  تعداد کل ژنها است.  $N_i^{unqualified}$  و  $N_i^{qualified}$  به ترتیب پایه تکرار I-امین ژن در مجموعه  $S^{unqualified}$  و  $S^{qualified}$  است. در نتیجه ژن های با ضریب کیفیت بالا، در فرزندان شایسته، فراوانتر و در فرزندان غیرشایسته، تکرار کمتری خواهد داشت. مجموعه ای از ژنها، با بالاترین مقادیر ضریب کیفیت شناسایی، و کروموزوم های اصلاح ژنتیکی شده به وسیله ترکیب تصادفی آنها تولید میشوند.

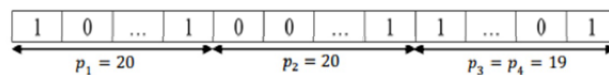
### بهینه سازی توابع کسری با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، اولین بار توسط بار توط Eberhart and Kennedy در سال ۱۹۹۵، بر اساس هوش اجتماعی گروهی از پرندگان یا ماهیها، طراحی و معرفی شد. این الگوریتم به طور ذاتی، مناسب حل مسائل با

فرم پیوسته است، دو سال بعد، Eberhart and Kennedy، مدل باینری الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات را معرفی کردند. این الگوریتم برای کشف ترم های بهینه توابع کسری مناسب نیست. از این رو جهت رفع نواقص آن در سال ۲۰۱۳، یآوری و همکاران، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات باینری بهبود یافته را به منظور کشف ترکیب بهینه توابع کسری معرفی کردند.

### ۵-۱- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات باینری توسعه یافته

در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات باینری، جمعیتی از ذرات به صورت تصادفی با رشته ای از مقادیر باینری، مقداردهی میشوند. این ذرات نشان دهنده ترکیب مختلف ترم های توابع کسری هستند که عدد ۱ نشان دهنده حضور و عدد ۰ نشان دهنده عدم حضور ترم مورد نظر است. شکل ۳، نمونه ای از ذره مقداردهی شده جهت کشف ترکیب بهینه تابع کسری درجه ۳ با مخرج مساوی را نشان میدهد.



شکل ۳. نمونه‌های از ذره مقداردهی شده در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

سپس برای هر یک از ذرات، تابع هزینه به منظور به روز کردن سرعت ذرات در نظر گرفته میشود. در یک روند تکراری، سرعت هر ذره  $[v]$  با استفاده از سرعتی که در حال حاضر دارد، موقعیت فعلی ذره مورد نظر  $[p]$ ، بهترین موقعیت آن در تمام تکرار  $[PBest]$  و بهترین موقعیت تمام ذرات در طول روند  $[GBest]$ ، به روز میشود. رابطه (۵):

$$v_{ij}(t+1) = w(t) \cdot v_{ij}(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot [GBest_i(t) - p_{ij}(t)] + c_2 \cdot r_2 \cdot [PBest_i(t) - p_{ij}(t)]$$

در رابطه فوق،  $i$  اندیس ذره در جمعیت،  $j$  اندیس و بیت ها در رشته باینری هر ذره،  $t$  تعداد تکرار،  $\Gamma_1$  و  $\Gamma_2$  دو مقدار تصادفی در بازه  $[0, 1]$ ،  $c_1$  و  $c_2$  دو ضریب ثابت شتاب شتاب و  $w(t)$  وزن اینرسی تابع زمان است. سرعت بدست آمده  $(v_{ij})$  در محدوده  $[v_{min}, v_{max}]$  نشان دهنده بیشترین و کمترین مقادیری هستند که به محدوده فوق منتقل شده اند. مقادیر بزرگتر  $w(t)$ ، وضعیت الگوریتم را به سمت جستجوی عمومی تغییر میدهد، در حالیکه مقادیر کوچکتر، سبب باهوش شدن الگوریتم برای جستجوهای محلی شدید میشود. در نتیجه،  $w(t)$  به عنوان یک تابع کاهش از تکرارها، مطابق رابطه ۶ است. رابطه ۶:

$$w(t) = w_{min} + (w_{max} - w_{min}) \cdot \frac{t_{max} - t}{t}$$

در رابطه فوق،  $[v_{min}, v_{max}]$  دو پارامتر ثابت تجربی و بیشترین تعداد تکرار است. در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات باینری،  $(v_{ij})$  احتمال اختصاص یک به  $(p_{ij})$  است. در نتیجه، موقعیت احتمال ذرات از رابطه ۷ به دست می آید. رابطه ۷:

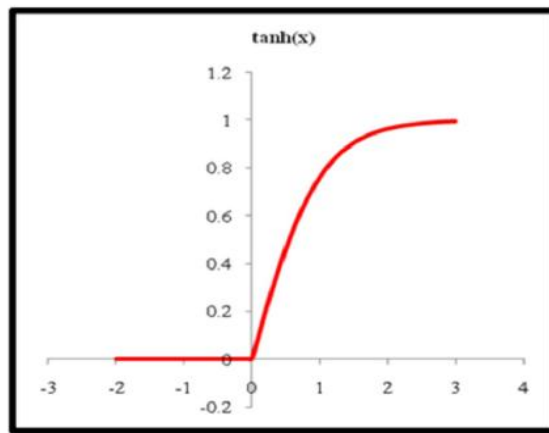
$$p_{ij}(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{if } r_{ij} < \Phi(v_{ij}(t)) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

در این رابطه،  $(r_{ij})$  یک عدد تصادفی در بازه  $[0, 1]$  است. همچنین  $\Phi(0)$ ، یک تابع نرمال کننده است که  $v_{ij}(t)$  را به بازه احتمال  $[0, 1]$  منتقل میکند.

از آنجاییکه هدف از بهینه سازی توابع کسری حضور کمترین تعداد ترمها با حفظ دقت، قابل قبول است، تابع نرمال سازی  $\Phi(0)$  را بایستی طوری طراحی کرد که به جای حفظ ترم ها بیشتر به دنبال حذف آنها باشد. به همین دلیل در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات باینری بهبودیافته،  $\Phi(0)$  با رابطه ۸ جایگزین شده است.

رابطه ۸:

$$\Phi(x) = \begin{cases} \tanh(x), & \text{if } x > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$



شکل ۴. تابع تانژانت هایپربولیک

### داده های مورد استفاده در تحقیق

به منظور ارزیابی عملکرد سه الگوریتم بهینه سازی فوق در کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری، از چهار تصویر ماهواره ای GeoEye-1، SPOT-3-1B و SPOT-3-1A، IKONOS-2 استفاده شده است. تصاویر اول و دوم متعلق به شهرهای ارومیه و همدان، و تصاویر سوم و چهارم متعلق به شهر اصفهان هستند. همچنین این تصاویر به ترتیب دارای 50، 30، 35 و ۳۲ نقطه کنترل زمینی هستند. خصوصیات و اطلاعات هندسی مربوط به هر تصویر، در جدول ۲ آورده شده است.

### ارزیابی نتایج و بحث

به منظور ارزیابی دقیقتر نتایج حاصل از پیاده سازی الگوریتم هی ذکر شده، هر یک از الگوریتم ها با استفاده از ترکیبات متفاوت نقاط کنترل و چک و با توزیع مناسب در سطح تصویر، اجرا شده و نتایج آنها در جداول ۳ تا ۶ آورده شده است. در هر آزمایش از نقاط کنترل موجود در سه نقش متفاوت استفاده شده است. بخشی از این نقاط به منظور محاسبه ضرایب توابع کسری مورد استفاده قرار گرفت، که در این مقاله نقاط کنترل زمینی [GCPS] خوانده میشوند.

جدول ۲. خصوصیات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در تحقیق

Dataset	Isfahan	Isfahan	Hamedan	Uromieh
Platform	SPOT-3	SPOT-3	IKONOS-2	GeoEye-1
Sensor	HRV	HRV	Panchromatic	Panchromatic
Product	Level 1A	Level 1B	Geo	Geo
Acquisition	July 1993	July 1993	October 2000	August 2010
Off-nadir angle	19.01° W	19.01° W	20.4° E	0.84° W
Pixel Size	13 μ	13 μ	12 μ	8 μ
GSD	10 m	10 m	0.82 m	0.41 m
No. of GCPs	35	32	30	50
Elevation relief	613.10 m	613.10 m	121.60 m	185.00 m

بخشی از نقاط کنترل به منظور برآورد تابع هزینه و ارزیابی هر یک از ساختارهای مورد جستجو استفاده شد، که در این مقاله نقاط چک وابسته [DCPs] نامیده میشوند. در نهایت، بخش دیگری از نقاط که نه در برآورد ضرایب توابع کسری شرکت داشته و نه در فرآیند جستجو سهمیه بوده اند، به صورت مستقل برای ارزیابی ساختار بهینه نهایی مورد استفاده قرار گرفتند که از این پس نقاط چک مستقل [ICPs] نامیده میشوند.

به سبب همبستگی ترم های توابع کسری، ترکیب های متنوعی از ترم ها میتواند دقت هایی قابل رقابت در سطح نقاط چک تامین نماید. از طرف دیگر، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم های بهینه سازی، اعم از دقت حاصل شده نهایی، تعداد تکرارهای انجام شده تا رسیدن به شرط توقف و ترکیب بهینه ترم ها، در هر بار اجرای الگوریتم تاحدی متفاوت است. به دلیل افزایش اعتمادپذیری نتایج، هر الگوریتم ده بار اجرا شده و بهترین نتیجه در جدول نتایج، ثبت شده است. در این جداول، Iter بیانگر تعداد تکرار الگوریتم و NFE، بیانگر تعداد دفعات برآورد تابع هزینه تا زمان رسیدن به شرط توقف است. بدیهی است که تعداد کمتر برآورد تابع هزینه، افزایش سرعت همگرایی الگوریتم را نتیجه خواهد داشت.

جدول ۳. نتایج حل توابع کسری با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبودیافته و ازدحام ذرات

### بهبودیافته بر روی تصویر سنجنده GeoEye-1

	Algorithm	GCPs,DCPs,ICPs	RMSE (Pixel)	Max of $\delta_r$ (Pixel)	Max of $\delta_c$ (Pixel)	P1,P2,P3	df	Iter.	NFE
GeoEye-1	GA Standard	۶,۷,۳۷	۰.۸۵	۱.۳۴	-۱.۵۲	۴,۳,۲	۳	۲۱۱	۱۰۶۰۰
		۸,۷,۳۵	۰.۸۸	۱.۲۲	۱.۳۱	۵,۴,۳	۴	۱۸۶	۹۳۵۰
		۱۰,۷,۳۳	۰.۷۴	-۱.۱۴	-۱.۲۶	۵,۵,۱	۹	۹۹	۵۰۰۰
		۱۲,۷,۳۱	۰.۷۳	-۱.۲۴	۱.۳۳	۴,۶,۴	۱۰	۱۰۵	۵۳۰۰
	GA Concept	۶,۷,۳۷	۰.۹۴	-۱.۲۶	۱.۷۳	۵,۴,۱	۲	۱۹	۱۰۰۰
		۸,۷,۳۵	۰.۷۲	-۱.۲۴	۱.۲۴	۵,۶,۲	۳	۴	۲۵۰
		۱۰,۷,۳۳	۰.۷۱	۱.۱۶	-۱.۰۴	۴,۵,۳	۸	۲	۱۵۰
		۱۲,۷,۳۱	۰.۷	-۱.۱۱	۱.۱۹	۵,۶,۴	۹	۲	۱۵۰
	PSORFO	۶,۷,۳۷	۰.۹۶	-۱.۲۲	-۱.۳۱	۳,۳,۱	۵	۲۵۲	۱۲۶۵۰
		۸,۷,۳۵	۰.۹۱	-۱.۳۵	-۱.۱۳	۳,۳,۳	۷	۱۷۵	۸۸۰۰
		۱۰,۷,۳۳	۰.۶۴	۰.۸۸	-۱.۱۲	۴,۴,۴	۸	۱۰۵	۵۳۵۵
		۱۲,۷,۳۱	۰.۶۱	۱.۱۲	-۱.۰۸	۳,۶,۳	۱۲	۸۵	۴۳۰۰



جدول ۴. نتایج حل توابع کسری با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبودیافته و ازدحام ذرات

**IKONOS-2** بهبودیافته بر روی تصویر سنجنده

Algorithm	GCPs,DCPs,ICPs	RMSE (Pixel)	Max of $\delta_r$ (Pixel)	Max of $\delta_c$ (Pixel)	P1,P2,P3	df	Iter.	NFE	
IKONOS-2	GA Standard	۶,۷,۱۷	۱.۱	۱.۵۷	۱.۳۳	۴,۳,۲	۳	۲۳۱	۱۱۶۰۰
		۸,۷,۱۵	۰.۹۵	۱.۱۴	-۱.۲۸	۶,۵,۴	۱	۱۱۲	۵۶۵۰
		۱۰,۷,۱۳	۰.۷۷	-۱.۳۴	-۱.۰۳	۸,۳,۴	۵	۱۴۴	۷۲۵۰
		۱۲,۷,۱۱	۰.۷۹	-۱.۰۸	۰.۹۸	۶,۷,۵	۶	۱۰۶	۵۳۵۰
	GA Concept	۶,۷,۱۷	۰.۸۱	۱.۴۷	-۱.۰۴	۵,۴,۱	۲	۲۱	۱۱۰۰
		۸,۷,۱۵	۰.۷۵	۰.۹۱	۱.۰۹	۶,۷,۲	۱	۷	۴۰۰
		۱۰,۷,۱۳	۰.۶۶	۰.۷۱	-۱.۱۸	۷,۵,۴	۴	۳	۲۰۰
		۱۲,۷,۱۱	۰.۶	-۰.۸۳	-۱.۰۶	۸,۷,۵	۴	۲	۱۵۰
	PSORFO	۶,۷,۱۷	۰.۹۸	۱.۳۲	۱.۵۱	۳,۳,۲	۴	۱۹۰	۹۵۵۰
		۸,۷,۱۵	۰.۸۷	-۱.۲۵	۱.۲۸	۲,۵,۴	۵	۱۲۱	۶۱۰۰
		۱۰,۷,۱۳	۰.۹۲	-۱.۳۳	-۱.۱۸	۴,۴,۴	۸	۱۰۲	۵۱۵۰
		۱۲,۷,۱۱	۰.۶۸	۱.۳۲	۱.۱۱	۵,۴,۵	۱۰	۸۲	۴۱۵۰

جدول ۵. نتایج حل توابع کسری با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبودیافته و ازدحام ذرات

**SPOT-3-1A** بهبودیافته بر روی تصویر سنجنده

Algorithm	GCPs,DCPs,ICPs	RMSE (Pixel)	Max of $\delta_r$ (Pixel)	Max of $\delta_c$ (Pixel)	P1,P2,P3	df	Iter.	NFE	
SPOT-3-1A	GA Standard	۶,۷,۲۲	۳.۰۱	-۶.۶۶	-۳.۵۵	۳,۷,۱	۱	۳۱۲	۱۵۶۵۰
		۸,۷,۲۰	۲.۲۲	-۳.۶۱	-۲.۲۱	۶,۴,۲	۴	۲۶۶	۱۳۳۵۰
		۱۰,۷,۱۸	۱.۵۹	-۱.۹۹	-۲.۰۱	۶,۴,۲	۸	۱۸۰	۹۰۵۰
		۱۲,۷,۱۶	۱.۱۴	۱.۵۱	۲.۸۳	۷,۷,۳	۷	۱۲۱	۶۱۰۰
	GA Concept	۶,۷,۲۲	۳.۳۲	-۲.۶۵	-۷.۲۹	۴,۵,۲	۱	۴۰	۲۰۵۰
		۸,۷,۲۰	۱.۰۴	-۱.۳۵	-۱.۶۵	۵,۷,۳	۱	۲۱	۱۱۰۰
		۱۰,۷,۱۸	۰.۹۶	-۱.۲۲	-۱.۶۷	۶,۶,۴	۴	۶	۳۵۰
		۱۲,۷,۱۶	۰.۹۳	-۱.۲۴	-۱.۳	۸,۷,۲	۷	۵	۳۰۰
	PSORFO	۶,۷,۲۲	۲.۱۴	-۲.۸۷	-۳.۲۱	۳,۷,۱	۳	۳۶۱	۱۸۱۰۰
		۸,۷,۲۰	۰.۹۵	۱.۲۴	-۱.۱۶	۶,۴,۲	۴	۳۴۲	۱۷۱۵۰
		۱۰,۷,۱۸	۰.۹۱	۱.۰۹	۲.۰۱	۶,۴,۲	۸	۱۷۷	۸۹۰۰
		۱۲,۷,۱۶	۰.۷۹	۱.۲۲	۰.۹۱	۷,۷,۳	۱۱	۱۱۳	۵۷۰۰

جدول ۶. نتایج حل توابع کسری با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبود یافته و ازدحام ذرات

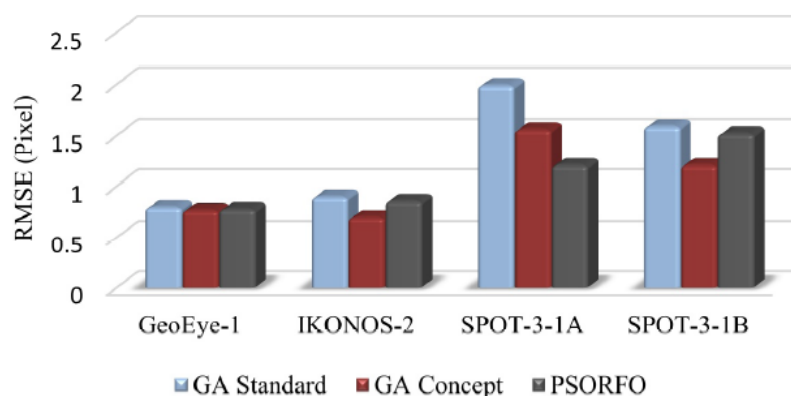
بهبود یافته بر روی سنجنده تصویر SPOT-3-1B

Algorithm	GCPs,DCPs,ICPs	RMSE (Pixel)	Max of $\delta_r$ (Pixel)	Max of $\delta_c$ (Pixel)	P1,P2,P3	Df	Iter.	NFE	
SPOT-3-1B	GA Standard	۶,۷,۱۹	۲.۲۱	۲.۲۲	-۱.۸۷	۳,۳,۳	۳	۲۹۵	۱۴۸۰۰
		۸,۷,۱۷	۱.۸۷	۲.۱۶	۱.۲۹	۶,۶,۱	۳	۲۴۹	۱۲۵۰۰
		۱۰,۷,۱۵	۱.۳۲	۱.۸۹	-۱.۵۴	۶,۸,۳	۳	۱۶۸	۸۴۵۰
	GA Concept	۱۲,۷,۱۳	۰.۹۸	۰.۹۹	۱.۲۳	۸,۷,۳	۶	۱۸۳	۹۲۰۰
		۶,۷,۱۹	۱.۱۸	-۱.۶۶	۱.۹	۳,۵,۳	۱	۳۷	۱۹۰۰
		۸,۷,۱۷	۰.۹۹	۱.۳۴	-۱.۸۲	۵,۷,۳	۱	۱۶	۸۵۰
	PSORFO	۱۰,۷,۱۵	۰.۹۵	۱.۳۹	۱.۵۹	۵,۹,۲	۴	۱۱	۶۰۰
		۱۲,۷,۱۳	۰.۹	-۱.۱۷	۱.۳۷	۸,۷,۴	۵	۷	۴۰۰
		۶,۷,۱۹	۲.۱۱	۲.۵۷	۴.۱۱	۳,۲,۴	۳	۲۷۳	۱۳۷۰۰
	PSORFO	۸,۷,۱۷	۱.۵۴	۱.۹۷	۲.۵۸	۴,۶,۳	۳	۲۵۴	۱۲۷۵۰
		۱۰,۷,۱۵	۱.۴۸	-۲.۶۶	-۱.۱۲	۴,۸,۳	۵	۱۹۸	۹۹۵۰
		۱۲,۷,۱۳	۰.۹۶	۰.۹۷	۱.۲۷	۷,۷,۲	۸	۱۲۸	۶۴۵۰

با توجه به جداول فوق و بررسی اعداد و نتایج بدست آمده، میتوان این سه الگوریتم را از سه دیدگاه مهم مورد واکاوی و مقایسه قرار داد.

### دقت حل توابع کسری

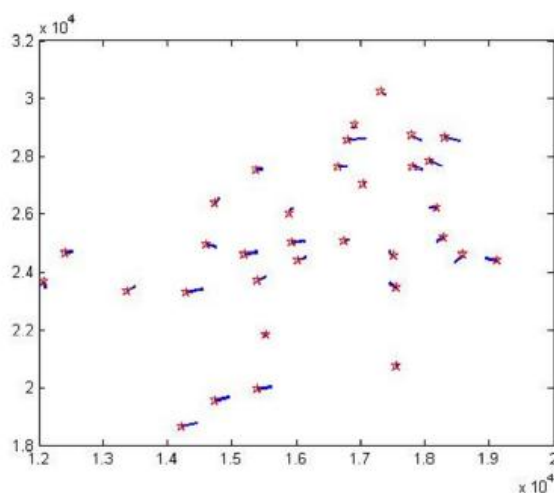
یکی از فاکتورهای مهم درباره ارزیابی توانایی الگوریتم های بهینه سازی در کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری، دقت نهایی حل توابع کسری [RMSE] است. نمودار ۱، بیان کننده دقت حل تابع کسری توسط هر یک از الگوریتم های بهینه سازی مورد مطالعه است. به جهت مقایسه دقیق تر از ستون RMSE مربوط به هر الگوریتم، که به ازای تعداد مختلف نقاط کنترل و چک بدست آمده است، میانگین گیری شده و مقدار میانگین، مورد مقایسه قرار گرفته است.



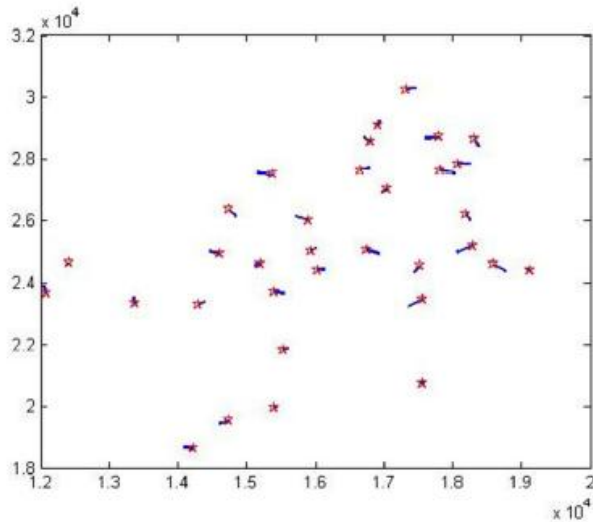
نمودار ۱. دقت حل توابع کسری با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبود یافته و ازدحام ذرات بهبود یافته

با بررسی دقیق نمودار فوق، به دو نتیجه بسیار مهم و اساسی میتوان دست یافت. این نتایج عبارتند از: ۱- هر سه الگوریتم مورد مطالعه در این تحقیق، از نقطه نظر دقت حل توابع کسری بر یکدیگر برتری ندارند و نمیتوان یکی از الگوریتم ها را در حل توابع کسری دقیق تر از دو الگوریتم دیگر معرفی کرد. ۲- میانگین RMSE حاصل از حل توابع کسری به ازای تعداد مختلف نقاط کنترل، در تصاویر ۳- SPOT-3 به مراتب بیشتر از تصاویر 1- GeoEye و 2- IKONOS است.

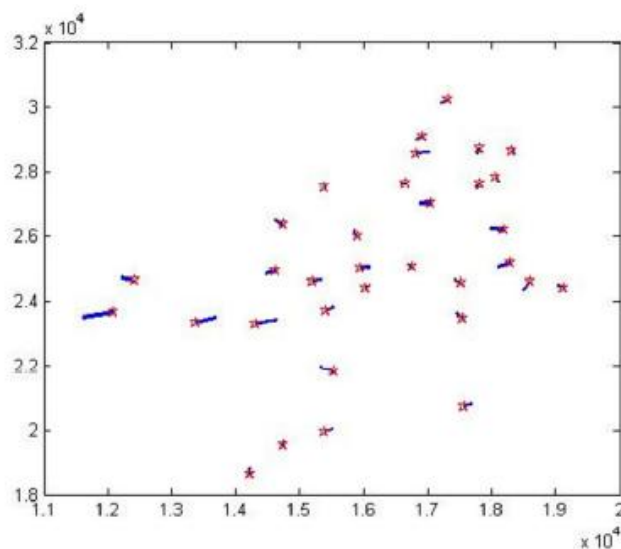
سنجنده های دارای 1- GeoEye و 2- IKONOS فاصله کانونی زیاد و زاویه گشایش دوربین کم هستند، در نتیجه هندسه آنها به هندسه افاین نزدیکتر است اما سنجنده های 3- SPOT دارای فاصله کانونی کم و زاویه گشایش دوربین زیاد هستند، به همین دلیل هندسه آنها به هندسه پروژکتیو نزدیکتر است. همچنین تصاویر سنجنده 3- SPOT نسبتاً خام هستند و در مقایسه با تصاویر سنجنده های 1- GeoEye و 2- IKONOS پس از اخذ، تصحیحات هندسی کمتری روی آنها اعمال شده است. این موضوعات باعث میشوند که تصاویر 1- GeoEye و 2- IKONOS در مقایسه با تصاویر 3- SPOT، با تعداد پارامترهای مجهول کمتر و به تبع آن تعداد نقاط کنترل مورد نیاز کمتر، به دقت بالاتر در حل توابع کسری برسند. در نتیجه اختلاف RMSE حل توابع کسری به ازای تعداد کمینه و بیشینه نقاط کنترل برای تصاویر 3- SPOT برای و ناچیز 2- IKONOS و 1- GeoEye چشمگیر میشود و در نتیجه در نمودار فوق، میزان میانگین RMSE حاصل از حل توابع کسری برای تصاویر 3- SPOT به مراتب بیشتر از تصاویر 1- GeoEye و 2- IKONOS میشود. همچنین بایستی توجه شود (در جداول ۳ تا ۶) که در تصاویر سنجنده های 1- GeoEye و 2- IKONOS، هر سه الگوریتم توانایی رسیدن به دقت زیر پیکسل را تنها با استفاده از ۶ نقطه کنترل دارند.



شکل ۵. دیاگرام بردارهای خطای باقیمانده الگوریتم ژنتیک



شکل ۶. دیاگرام بردارهای خطای باقیمانده الگوریتم ژنتیک بهبود یافته



شکل ۷. دیاگرام بردارهای خطای باقیمانده الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته

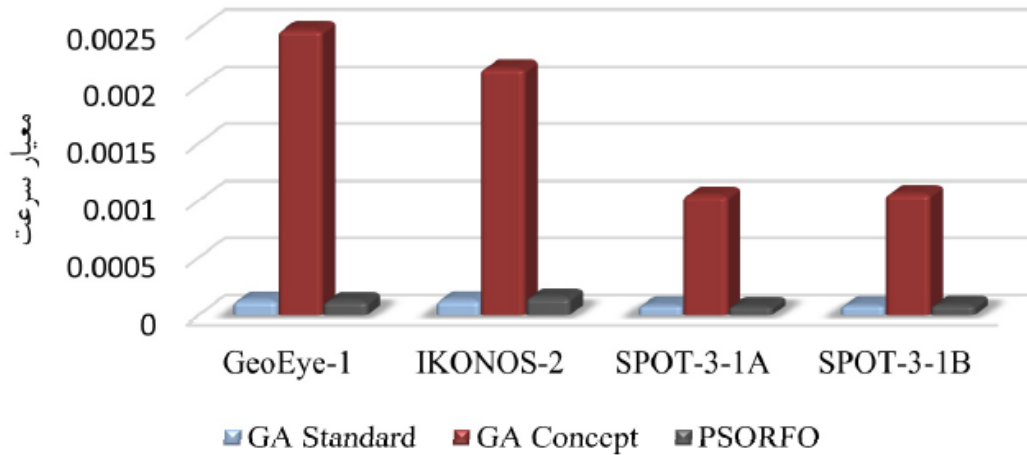
### سرعت حل توابع کسری

تعداد بیشتر برآورد تابع هزینه، باعث کاهش سرعت همگرایی و تعداد کمتر برآورد تابع هزینه باعث افزایش سرعت همگرایی الگوریتم های بهینه سازی میشود. به منظور مقایسه دقیق تر و سهولت در نمایش مقادیر جهت مقایسه سرعت همگرایی الگوریتم ها، در ابتدا از مقادیر NFE مربوط به هر یک از الگوریتم ها که به ازای تعداد مختلف نقاط کنترل و چک بدست آمده است، میانگین گیری شده و مقدار  $\frac{1}{NEF_{میانگین}}$  به عنوان معیار سرعت همگرایی الگوریتم ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

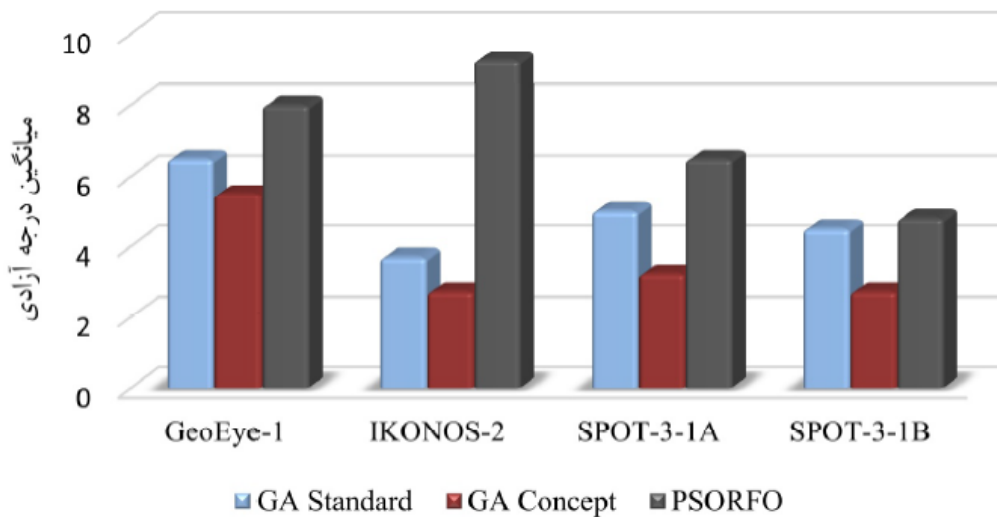
با توجه به نمودار ۲، پر واضح است که الگوریتم ژنتیک بهبود یافته، ۱۰ تا ۱۲ بار سریع تر از دو الگوریتم دیگر قادر به کشف ترم های بهینه و حل توابع کسری است، که توجه به ژنهای شایسته تر و حضور این ژن ها در جمعیت های بعدی، میتواند مهمترین دلیل این موضوع باشد.

### تعداد نقاط کنترل موردنیاز

یکی از فاکتورهای مهم، در انتخاب الگوریتم بهینه سازی مناسب جهت کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری، تعداد نقاط کنترل مورد نیاز الگوریتم موردنظر است. با توجه به اینکه، افزایش تعداد نقاط کنترل باعث کاهش درجه آزادی محاسبات میشود، میتوان از معیار درجه آزادی، برای ارزیابی تعداد نقاط کنترل موردنیاز الگوریتم های بهینه سازی جهت حل توابع کسری استفاده کرد. نمودار ۳، میانگین درجه آزادی بدست آمده از هر یک از الگوریتم های بهینه سازی را بر روی تصاویر ماهواره ای مختلف نشان میدهد.



نمودار ۲. سرعت حل توابع کسری با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبودیافته و ازدحام ذرات بهبودیافته



نمودار ۳. درجه آزادی حل توابع کسری با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ژنتیک، ژنتیک بهبودیافته و ازدحام ذرات بهبودیافته

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بهبودیافته، با حفظ دقت، قادر به حل توابع کسری با تعداد کمتر نقاط کنترل در مقایسه با دو الگوریتم بهینه سازی دیگر است.

## نتیجه گیری

به عنوان نتیجه گیری میتوان اینگونه بیان کرد که از نقطه نظر دقت و قابلیت اطمینان به نتایج، هر سه الگوریتم نتایج نسبتاً یکسانی را در کشف ترم های بهینه و حل توابع کسری دارا هستند. از نقطه نظر سرعت، الگوریتم ژنتیک بهبودیافته، ۱۰ تا ۱۲ برابر سریع تر از دو الگوریتم دیگر، قادر به کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری است و در نهایت از نقطه نظر تعداد نقاط کنترل موردنیاز، به ترتیب برتری ۴۵/۲۵ و ۲۷ درصدی درجه آزادی الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بهبودیافته نسبت به الگوریتم ژنتیک بهبودیافته و ژنتیک، حاکی از آن است که این الگوریتم در مقایسه با دو الگوریتم دیگر، با استفاده از نقاط کنترل، کمتر توانایی کشف ترکیب بهینه ترم های توابع کسری را دارد.

با تدقیق و تعمیق در سازوکار الگوریتم ژنتیک بهبودیافته میتوان دریافت، مهم ترین علت پائین بودن درجه آزادی این روش، در مقایسه با دو روش دیگر، تعداد ترم های مورد استفاده در مرحله تولید فرزندان تراخته است. در حالیکه الگوریتم ازدحام ذرات بهبودیافته، به سبب بررسی و افزودن ترم های بهینه به صورت تک تک به ساختار بهینه نهایی، با درجه آزادی بالاتری موفق به کشف ساختار بهینه توابع کسری شده است. از این رو، به نظر میرسد که با ترکیب عملکرد این دو الگوریتم بتوان الگوریتم ژنتیک بهبودیافته را به نحوی ویرایش نمود که علاوه بر هزینه محاسباتی کم، قادر به تامین درجه آزادی بالاتری در کشف ساختار بهینه توابع کسری باشد.

## مراجع:

- [1] Valadan Zoej, M.J., Mokhtarzadeh, M., Mansourian, A., Ebadi, H. and Sadeghian., S., 2007, Rational Function Optimization Using Genetic Algorithms, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 9 (4): 403–413.
- [2] Yavari, S., Valadan Zoej, M.J., Mohammadzadeh, A. and Mokhtarzade, M., 2013, Particle Swarm Optimization of RFM for Georeferencing of Satellite Images, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 10 (1): 135-139.
- [3] Yavari, S., Valadan Zoej, M.J., Sahebi, M.R. and Mokhtarzade, M., 2016, An automatic novel structural linear feature-based matching based on new concepts of mathematically generated lines and points, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 82 (5): 17-28.
- [4] Yavari, S., Valadan Zoej, M.J. and Sadeghian, S., 2008, Mathematical Modeling of Georectified Dynamic Space Images, International Journal of Geoinformatics, 4 (4): 47-55.
- [5] Yavari, S., Valadan Zoej, M.J., Mohammadzadeh, A. and Mokhtarzade, M., 2012, Comparison of Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm in Rational Function Model Optimization, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia.
- [6] Fraser, C.S. and Hanley, H.B., 2003, Bias Compensation in Rational Functions for IKONOS Satellite Imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 69 (1): 53–57.