



تعیین ضرایب شاخص‌های ارزیابی عملکرد شعب با استفاده از الگوریتم ژنتیک دوهدفه پیشنهادی

الهام حامدی و میترا میرزازهایی*

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

با اختصاص بخش قابل توجهی از بودجه مربوط به حقوق و دستمزد بانک‌ها به شیوه پرداخت مبتنی بر عملکرد توجه به پتانسیل‌های کسب و کاری شعب اهمیت یافته است. از این رو مسئله تعیین ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد مبتنی بر فضای کسب و کاری به یک چالش برای مدیران بانکی تبدیل شده است. در این مقاله مسئله بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد شعب در یکی از بانک‌های دولتی ایران با در نظر گرفتن فضای کسب و کاری شعب مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور یک رویکرد دو مرحله‌ای ارائه شده در گام اول از یک روش خوشه‌بندی رایج برای تعیین فضای کسب و کاری هر شعبه استفاده شده و در گام دوم یک الگوریتم ژنتیک دوهدفه نوین به منظور بهینه‌سازی ضرایب اهمیت هر خوشه پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی با چهار روش شناخته شده مقایسه شده و نتایج در مواردی عملکرد موثر روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: فضای کسب و کاری شعب، ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد، خوشه‌بندی، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک چندهدفه

Determining the coefficients of branch performance evaluation indicators using proposed two-objective genetic algorithm

Elham Hamedi and Mitra Mirzazaeae*

Department of Computer Engineering, Science and Research Branch,
Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

Nowadays, we are witnessing financial markets becoming more competitive, and banks are facing many challenges to attract more deposits from depositors and increase their fee income. Meanwhile, many banks use performance-based incentive plans to encourage their employees to achieve their short-term goals. In the meantime, fairness in the payment of bonuses is one of the important challenges of banks, because not paying attention to this issue can become a factor that destroys the motivation among employees and prevents the bank from achieving its short-term and mid-term goals. This article is trying to tackle the problem of optimizing the coefficients of branch performance evaluation indicators based on their business environment in one of the state banks of Iran. In this article, a two-objective genetic algorithm is proposed to solve the problem.

This article is comprised of four main sections. The first section is dedicated to the problem definition which is what is our meaning of optimizing the importance coefficients of branches based on the business environment. The second section is about our proposed solution for the defined problem. In

* Corresponding author

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات



۳- پیشینه پژوهش

روش پیشنهادی توسط دب و همکارانش [2] یکی از روش‌های شناخته‌شده و کارآمد است که در بیشتر مقالات بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه به‌عنوان یک روش پایه برای ارزیابی نتایج مورد مقایسه قرار گرفته است. این روش از جمله روش‌هایی است که از مرتب‌سازی احاطه‌نشده استفاده می‌کند. هرچند این ایده برای نخستین بار در این مطالعه مطرح نشده، ولی در این مقاله پیچیدگی محاسباتی این روش از $O(MN^3)$ (در آن M تعداد هدف و N اندازه جمعیت است) به $O(MN^2)$ کاهش داده شده است.

جموال و همکاران [4] یک روش مبتنی بر احاطه فازی ارائه کرده‌اند و چالش‌های الگوریتم‌های تکاملی پیش از خود از جمله عدم وجود یک معیار قطعی برای پایان یافتن الگوریتم و همچنین مشکل بودن انتخاب یک پاسخ مناسب از میان مجموعه پاسخ‌های پرتو در یک مسئله عملی را مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان ادعا کرده‌اند که روش‌هایی همچون NSGAI و SPEAI در حل مسائل با دو هدف موفق هستند و در صورت افزایش تعداد اهداف این روش‌ها کارایی خود را از دست می‌دهند، چرا در این روش‌ها با افزایش تعداد اهداف تعداد جواب‌هایی که احاطه نمی‌شوند، افزایش می‌یابد و الگوریتم خیلی زود همگرا می‌شود؛ درحالی‌که در روش EFSGA از معیار غلبه عکس احاطه‌نشده استفاده شده است.

ژانگ و همکارانش [10] یک الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه با نام MOEA/D ارائه کرده‌اند. ایده اصلی روش MOEA/D به این ترتیب است که مسأله بهینه‌سازی چندهدفه به تعدادی زیرمسأله بهینه‌سازی عددی تک‌هدفه تجزیه شده و این مسائل به‌صورت هم‌زمان بهینه‌سازی می‌شوند. ایشان در این مقاله ادعا کرده‌اند که یک رویکرد کارآمد و ساده برای تجزیه مسائل پیچیده تکاملی چندهدفه ارائه کرده است.

پتل و همکاران [6] یک رویکرد مرتب‌سازی توری مبتنی بر یک پارامتر ارائه کرده‌اند که برخلاف روش‌های مبتنی بر مرتب‌سازی احاطه‌نشده، از ایده شبکه توری استفاده کرده است. ایشان (پتل و همکاران ۲۰۱۵) به جای رده‌بندی، اعضای جمعیت در جبهه‌های پرتو رتبه‌بندی شده، کل جمعیت را در یک شبکه توری چندبعدی در فضای هدف تقسیم‌بندی می‌کنند و موقعیت هر یک از اعضای جمعیت در این شبکه توری

تحقق سیاست‌های کلان اقتصادی مصوب مراجع سیاست‌گذار، تعیین می‌شود.

پس از تعیین شاخص‌های ارزیابی عملکرد، در هر شاخص هدف کل بانک تعیین شده و سپس طی فرایند توزیع اهداف، هدف کلی تعیین شده به‌صورت سلسله‌مراتبی به تفکیک مدیریت امور نواحی و سپس مدیریت شعب و درنهایت به تفکیک شعب توزیع می‌شوند. درواقع شعب کوچک‌ترین واحدهای سازمانی هستند که برای یک سال و به‌صورت ماهانه هدف‌گذاری می‌شوند. پس از هدف‌گذاری، هر ماه براساس اهداف ماهانه تعیین شده و عملکرد شعب، درصد تحقق اهداف تعیین شده و امتیاز عملکردی هر شعبه محاسبه می‌شود. امتیاز عملکردی هر شعبه تعیین‌کننده مبلغ پاداش دریافتی ماهانه کارکنان شعبه و همچنین ارتقای درجه شعبه در زمان ارزیابی آن خواهد بود به همین دلیل از اهمیت بسیاری برخوردار است. برای محاسبه امتیاز هر شعبه، درصد تحقق هر شاخص عملکردی در مقطع مورد نظر در ضریب اهمیت آن شاخص ضرب می‌شود؛ سپس این مقادیر با هم جمع شده و بر مجموع ضرایب اهمیت کلیه شاخص‌ها تقسیم می‌شود. با توجه به اینکه شاخص‌های عملکردی از جنبه‌های متفاوتی حائز اهمیت هستند، ضروری است ضرایبی برای تعیین میزان تأثیر هر شاخص در امتیازات شعب تعیین شود، برای مثال رسوب منابع در سپرده‌های قرض‌الحسنه جاری تأثیر مستقیم بر کاهش بهای تمام‌شده پول و درنتیجه سودآوری بانک دارد؛ درحالی‌که مانده سپرده‌های سرمایه‌گذاری پس‌انداز بلندمدت با وجود افزایش بهای تمام‌شده پول به دلیل کاهش ریسک نقدینگی حائز اهمیت است. درصد تحقق هر شاخص مقداری عددی صحیح است که کف آن به 150% و سقف آن به 150% محدود می‌شود برای هر شاخص به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. پارامتر تعیین‌کننده امتیاز، ضریب اهمیت هر یک از شاخص‌های عملکردی است که نقش تعیین‌کننده‌ای در محاسبات امتیازات شعب دارد. از این رو ضرایب اهمیت، همه‌ساله توسط مدیریت عامل بانک و با مشورت واحدهای مالی تعیین می‌شوند. در این پژوهش تلاش شده در گام نخست فضای کسب و کاری شعب با استفاده از فرایند خوشه‌بندی استخراج و در گام بعدی با بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی موجود اقدام به بهینه‌سازی ضرایب اهمیت برای هر گروه از شعب شود.

تعیین‌کننده کیفیت آنها است و بر اساس موقعیت آنها مقدار برازش برای هر عضو تعیین می‌شود.

روش پیشنهادی توسط هیوا و همکارانش [3] شامل دو فاز اصلی است که در فاز اول فرایند تخمین با استفاده از به‌کارگیری رویکرد نقاط مرجع بهبود داده شده‌است و در فاز دوم یک طرح همکاری توزیع‌شده برای گسترش دامنه جواب‌ها پیشنهاد شده‌است. الگوریتم پیشنهادی ایشان یک چهارچوب کلی برای بهبود دو گروه روش مبتنی بر احاطه و گروه روش مبتنی بر تجزیه است.

ژانگ و نگ و همکارانش [8] ادعا کرده‌اند که الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه با وجود اینکه توانسته‌اند بر محدودیت‌های الگوریتم‌های تکاملی در تعیین رابطه احاطه‌شدن در جبهه پرتو را حل کنند ولی این الگوریتم‌ها دارای محدودیت‌هایی از جمله تنوع کم و سرعت همگرایی پایین هستند و تلاش کرده‌اند با سه بهبود در الگوریتم مذکور عملکرد آن را ارتقا دهند. بهبود اول در استفاده از عملگرهای جهش است که در این مقاله پیشنهاد شده از عملگرهای DE و SBX به صورت رقابتی جایگزین هم شوند به طوری هر زمان که تعداد همسایه‌های بروزرسانی شده کاهش پیدا می‌کند به جای عملگر DE از عملگر SBX استفاده شود. بهبود دوم تنظیم انطباقی احتمال جهش است. به این ترتیب که با پیشروی فرایند تکامل احتمال تغییر طی فرایند جهش افزایش پیدا کند. و به منظور جلوگیری از تاخیر در همگرایی این احتمال تنها به یک حد‌آستانه از پیش تعیین شده محدود می‌شود. براساس ادعای ایشان بررسی افراد طی پیشروی تکامل نشان می‌دهد که تراکم افراد جمعیت بعد از گذشت تعدادی نسل در بخش مرزی فضای جواب افزایش یافته و در سایر نواحی توزیع جمعیت بسیار تنک می‌شود، بر همین اساس استراتژی آینه‌ای برای جلوگیری از تراکم جمعیت جدید در نواحی مرزی را پیشنهاد کرده‌اند.

سالگوپرو و همکارانش [7] یک روش بهینه‌سازی چندهدفه با نام MOVMO ارائه کرده‌اند که این روش مفاهیم معمول حوزه بهینه‌سازی چندهدفه همچون احاطه پرتو، تخمین تراکم و ذخیره‌سازی آرشیو بیرونی را با هم ترکیب کرده است. همچنین این روش یک عملگر برش بین بهینه محلی و سراسری معرفی می‌کند. روش پیشنهادی بر روی ۴ خانواده تابع محک با ۷ روش بهینه‌سازی مقایسه شده است.

لو و همکارانش [5] یک روش بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر تقسیم تصادفی اهداف با نام MOEA/D-ROD ارائه کرده‌اند. در این مطالعه رویکرد اصلی ارائه روشی برای حل مسائل با اهداف زیاد است. به ادعای ایشان در اغلب روش‌های ارائه شده با افزایش تعداد اهداف، کارایی اغلب به شدت کاهش پیدا می‌کند. در راه پیشنهادی ایشان چهارچوب اصلی فرایند همان روش MOEA/D است، با این تفاوت که برای تجزیه مسئله ابتدا مسئله به تعدادی مسئله با ابعاد پایین‌تر با استفاده از فرایند تقسیم‌بندی تصادفی اهداف، تقسیم می‌شود. بر این اساس طی این فرایند حداقل تعداد هدفی که باید در هر بخش موجود باشد از قبل تعیین، سپس هر زیرمسئله با استفاده از تکنیک تجزیه ارائه‌شده در روش MOEA/D به مسائل تک‌هدفه تجزیه می‌شود. به ادعای لو و همکارانش مزیت این روش این است که می‌توان هر زیرمسئله را به روش دلخواه تجزیه کرد و هم‌زمان از چندین روش تجزیه استفاده نمود.

و نگ و همکارانش [9] یک الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر ترجیح با نام MOEA/D-AWV ارائه کرده‌اند. همان‌طور که از نام این روش برمی‌آید، این روش مبتنی بر روش تجزیه MOEA/D است که با استفاده از تولید بردار وزن انطباقی ارتقا داده شده‌است. در این مطالعه یک استراتژی تولید بردار وزن انطباقی AWV ارائه شده‌است که توزیع بردارهای وزنی را با ترجیحات تصمیم‌گیرندگان هماهنگ می‌سازد و به آنها کمک می‌کند جواب‌های با دقت بالا را انتخاب کنند.

آتنسیا و همکارانش [1] یک روش خاص مسئله برنامه‌ریزی مأموریت چندین هواپیمای بدون سرنشین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک احاطه‌نشده NSGAI ارائه کرده‌اند که از یک استراتژی تولید تصادفی وزنی برای ارتقای نتایج استفاده کرده است. در این روش سه استراتژی وزن‌دهی استراتژی حسابی، استراتژی هارمونیک و استراتژی هندسی پیشنهاد شده‌است.

۴- روش انجام کار

روش پیشنهادی شامل دو مرحله اصلی است. در مرحله نخست فضای کسب و کاری شعب به کمک خوشه‌بندی استخراج می‌شود و در مرحله دوم ضرایب بهینه شاخص‌های ارزیابی عملکرد براساس فضای کسب و کاری تعیین می‌شوند. در این مرحله بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شعب هر خوشه شامل اهداف، محدودیت‌ها و نتایج مورد

انتظار است که به‌وسیله یک الگوریتم ژنتیک دوهدفه پیشنهادی انجام می‌شود. روش انجام کار در شکل (۱) ارایه شده‌است.

۴-۱- فرایند خوشه‌بندی شعب

در راستای تعیین فضای کسب و کاری شعب، از آن جایی که امکان تعیین ضرایب به صورت اختصاصی برای هر شعبه وجود ندارد و نیازمند شناسایی ویژگی‌های تک تک شعب است که بسیار زمانبر است و به دلیل نقص اطلاعات تقریباً غیرممکن خواهد بود؛ گروه‌های مشابه از شعب از منظر فضای کسب و کاری شناسایی شده و برای هر گروه، ضرایب اهمیت بهینه می‌شود؛ بنابراین از الگوریتم خوشه‌یابی پیشنهادی برای یافتن شعب مشابه استفاده شده‌است. مراحل فرایند خوشه‌بندی، به شرح زیر است:

در گام جمع‌آوری داده‌ها ابتدا فهرست بیشینه‌ای از کلیه ویژگی‌ها و فیلدهای اطلاعاتی قابل جمع‌آوری از جامعه مورد بررسی شامل ۷۷ شاخص عملکردی کلیه شعب فعال در بانک مورد بررسی، به عنوان داده‌های اولیه استخراج شد. به‌منظور گسترش متغیرهای معنی‌دار، با استفاده از شاخص‌های اصلی استخراج شده در گام قبل و با بهره‌گیری از توابع سهم درصد، لگاریتم، میانگین، رشد و ضریب تغییرات متغیرهای معنی‌دار بیشتری تولید و در این مرحله ۴۱ ویژگی جدید به مجموعه متغیرهای اولیه اضافه، سپس عملیات نرمال‌سازی و استانداردسازی داده‌ها انجام شد.

در گام سوم با استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی، پانزده ویژگی که بیشترین تمایز و واریانس را در مجموعه داده‌ها ایجاد می‌کنند و دارای کمترین همخطی با یکدیگر هستند انتخاب شده‌اند؛ سپس ویژگی‌های بهینه انتخاب‌شده برای خوشه‌بندی شعب با استفاده از روش k -means به‌کار گرفته شد. استفاده از ترکیب‌های مختلف ویژگی‌های انتخاب شده طی فرایند انتخاب ویژگی و با تعداد خوشه‌های مختلف (۳ تا ۱۷ خوشه) مورد آزمایش قرار گرفت و ۱۰ ویژگی زیر به عنوان ویژگی‌های مناسب نهایی انتخاب شدند:

- ۱- سهم سپرده قرض‌الحسنه جاری از ۴ سپرده
- ۲- سهم سپرده سرمایه‌گذاری کوتاه مدت از ۴ سپرده
- ۳- سهم سپرده سرمایه‌گذاری بلندمدت از ۴ سپرده
- ۴- نسبت تسهیلات به سپرده
- ۵- سهم کارمزد ارزی به کل کارمزدهای دریافتی
- ۶- سهم کارمزد دریافتی از محل ضمانت نامه‌ها به کل کارمزدی دریافتی

- ۷- سهم کارمزد دریافتی از محل اعتبارات اسنادی به کل کارمزدهای دریافتی
- ۸- میانگین سالانه تعداد تراکنش‌های خودپرداز
- ۹- تعداد چک واگذاری
- ۱۰- چولگی مانده منابع شعبه در پایان دوره

خوشه‌بندی شعب منجر به استخراج یازده خوشه متفاوت شده که بیان‌گر یازده نوع شعبه با ماهیت کسب و کاری متفاوت هستند. در این مقاله با توجه به اهمیت قابلیت تفسیرپذیری خوشه‌های استخراج‌شده، از نظر خبرگان برای تعیین تعداد خوشه‌ها استفاده شده است.

۴-۲- تعیین ضرایب اهمیت بهینه برای

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

برای بهینه‌سازی ضرایب اهمیت، یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه پیشنهاد شده است.

۴-۲-۱- روش کدگذاری مسئله

به‌عنوان نخستین گام، کدگذاری متغیرهای مسئله در قالب ژن‌ها و ساخت راه‌حل‌های ممکن یا همان کروموزوم‌ها ضروری است. در مسئله مورد بررسی هر یک از ضرایب اهمیت برای هر یک از شاخص‌ها به‌عنوان یک ژن تعریف شده‌اند؛ بنابراین هر ژن به‌صورت $W(k,j)$ نمایش داده می‌شود که همان ضریب اهمیت شاخص z ام از کروموزوم k ام از جمعیت است. هر کروموزوم یک جواب مسئله است؛ بنابراین هر کروموزوم به صورت \vec{W}_k نمایش داده می‌شود که بردار ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد فرد k ام از جمعیت است.

۴-۲-۲- تابع برازش

تابع برازش دوهدفه تعریف‌شده برای این مسئله، رتبه برازندگی هر جواب بالقوه را محاسبه می‌کند و از دو تابع هدف به‌صورت زیر تعریف شده است:

تابع هدف نخست:

تابع هدف نخست که $f_1(\vec{W}_{c,k})$ نام‌گذاری شده، بیان‌گر مقدار تابع هدف به‌ازای بردار ضرایب اهمیت k ام در جمعیت برای خوشه c ام است. این تابع هدف مجموع انحراف درصد تحقق کلیه شعب متعلق به هر خوشه در تمامی پانزده شاخص عملکرد از درصد تحقق مورد انتظار (یعنی ۱۰۰٪) را اندازه‌گیری می‌کند و هدف کمینه‌کردن این تابع هدف است:

$$f_1(W_c) = \frac{\text{sum}(|W_c \cdot \{D_c - 1\}^T|)}{nc_c} \quad (1)$$

اگر nf بیان‌گر تعداد شاخص‌های ارزیابی عملکرد که برابر با ۱۵ است و np بیان‌گر تعداد جمعیت و nc_c تعداد شعب متعلق به خوشه c ام باشد، D_c ماتریس میزان تحقق هدف براساس عملکرد هر یک از شعب متعلق به هر خوشه در پانزده شاخص ارزیابی عملکرد است که ابعاد آن $(nc_c \times nf)$ خواهد بود. ماتریس تمام یک در حقیقت میزان تحقق هدف ایده‌آل یعنی همان یک یا ۱۰۰٪ است که انتظار می‌رود هر یک از شعب در هر یک از پانزده شاخص ارزیابی عملکرد به این میزان درصد تحقق دست یابند. ابعاد این ماتریس مانند ابعاد ماتریس D_c است. در این فرمول ماتریس W_c بردار ضرایب اهمیت تمامی اعضای جمعیت در تمامی شاخص‌های ارزیابی عملکرد است. ابعاد این ماتریس $(np \times nf)$ است.

تابع هدف نخست بر این فرض استوار است که فرایند خوشه‌بندی شعب به صورت صحیحی انجام شده است و شعب متعلق به هر خوشه دارای فضای کسب و کاری مشابه هستند؛ لذا دارای توان و پتانسیل مشابه برای فعالیت در هر یک از حوزه‌های هدف‌گذاری شده و معیارهای ارزیابی عملکرد هستند. گفتنی است برای اطمینان از صحت این فرضیه، خوشه‌های به‌دست‌آمده از فرایند خوشه‌بندی در این مقاله به تعدادی از مدیران کارشناسان در مدیریت‌های امور شعب و همچنین مدیران عملیاتی که دارای تجربه اجرایی در حوزه شعب بوده و شناخت کافی نسبت به عملکرد شعب دارند ارائه شده و دقت نتایج خوشه‌بندی به تایید ایشان رسیده است.

تابع هدف دوم:

تابع هدف دوم با $f_2(\vec{W}_{c,k})$ نمایش داده شده است. مقدار تابع هدف دوم را به‌ازای بردار ضرایب اهمیت k ام در جمعیت اندازه‌گیری می‌کند. این تابع هدف میزان انحراف از ضرایب اهمیت تعیین‌شده براساس نظر خبرگی \vec{W} را محاسبه می‌کند. این تابع انحراف ضرایب اهمیت اعضای جمعیت از ضرایب اهمیت تعیین شده براساس معیار خبرگی را محاسبه می‌کند و مقدار زیر را کمینه می‌کند:

$$f_2(W_c) = \frac{\text{sum}(|W_c - \vec{W}|)}{nf} \quad (2)$$

که در آن بردار \vec{W} ، بیان‌گر ضرایب اهمیت براساس نظر خبرگی است و شامل مقادیر ضرایب اهمیت است. در این قسمت لازم است در رابطه با تفاوت‌های میان تابع هدف اول و دوم تعریف شده، توضیحاتی ارائه

شود. تابع هدف نخست همان طور که در تعریف آن آمده است، سعی دارد ضرایب اهمیت را به‌گونه‌ای تنظیم کند که مجموع امتیاز کلیه شعب هر خوشه به بیشترین میزان خود برسد؛ زیرا با به کمینه‌رساندن انحراف از درصد تحقق مورد انتظار در حقیقت امتیاز کل هر خوشه بیشینه خواهد شد. به این ترتیب در هدف نخست با فرض اینکه کلیه شعب دارای فضای کسب و کاری یکسان و پتانسیل مشابه برای تحقق اهداف تعیین‌شده در هر حوزه هستند و همچنین تمام ظرفیت خود را برای دستیابی به این اهداف به‌کار برده‌اند، برای توزیع عادلانه پاداش ضروری است، ضرایب اهمیت هر شاخص به‌گونه‌ای تعیین شود که کمینه انحراف از درصد تحقق بهینه و به عبارت دیگر بیشترین میزان امتیاز به خوشه تعلق بگیرد. درحالی‌که در تابع هدف دوم عکس این تلاش صورت می‌گیرد. به این ترتیب که تابع هدف دوم سعی دارد بدون در نظر داشتن پتانسیل و ظرفیت‌های شعب هر خوشه صرفاً ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد براساس معیار سودآوری و با کمینه انحراف از ضرایب اهمیت تعیین‌شده توسط واحدهای مالی و حسابداری تعیین شوند. به این ترتیب تابع هدف نخست درحقیقت توزیع عادلانه پاداش را دنبال می‌کند، درحالی‌که تابع هدف دوم سودآوری را مدنظر قرار می‌دهد. این دو هدف در بیشتر موارد به‌صورت متناقض با یکدیگر ظاهر می‌شوند، لذا در این مسئله هدف بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد به‌گونه‌ای است که دو تابع هدف متناقض و متضاد هم‌زمان برآورده شوند و این به‌طور دقیق جایی است که روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۲-۴- الگوریتم ژنتیک دوهدفه پیشنهادی

در این بخش الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای استخراج مجموعه‌جواب‌های بهینه این مسئله بهینه‌سازی دوهدفه ارائه شده است. روش پیشنهادی، روشی مبتنی بر تقسیمات نواری موازی است.

رویکرد اصلی در این روش این است که فضای دوبعدی مسئله در هر بعد به تعدادی برش نواری تقسیم‌بندی و جواب بهینه برای هر بعد در هر برش استخراج شود. در ادامه شرح کامل مراحل الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌شود. گفتنی است با توجه به اینکه هدف مسئله تعیین ضرایب اهمیت بهینه یا مقدار بهینه $\vec{W}_{c,k}$ به‌ازای هر یک از خوشه‌های شعب با فضای کسب و

تعداد کمتر باشد پرتو جواب خلوت‌تر خواهد بود و هر چه این تعداد بیشتر باشد مجموعه‌جواب متراکم‌تر خواهد بود. این تعداد می‌تواند توسط کاربر و بین ۵۰ تا ۱۰۰۰ و یا بیشتر یا کمتر تعیین شود و می‌تواند برای هر یک از توابع هدف متفاوت باشد. به این ترتیب ضخامت نوارهای برش در هر بعد براساس $nBin_i$ یا همان تعداد نوارها در هر بعد که توسط کاربر قابل تعیین است مشخص می‌شود.

$$Bin(f_i) = Range(f_i) / nBin_i \quad (5)$$

۵- استخراج پاسخ کمینه (بیشینه) هر تابع هدف برای هر نوار: در این مرحله برای هر نوار در هر بعد به این ترتیب عمل می‌شود که ابتدا بررسی می‌شود که چه تعداد از افراد جمعیت در نوار مورد بررسی واقع شده‌اند، یعنی تمام اعضایی از جمعیت که مقدار f_i آنها در دامنه نوار s از بعد i ام قرار دارد مشخص و سپس برای همین افراد مقادیر تابع هدف f_j که $i \neq j$ است با یکدیگر مقایسه می‌شوند. این به این معنی است که مقادیر تابع هدف دیگر از افراد انتخاب‌شده با هم مقایسه و در صورتی که مقصود کمینه‌سازی تابع هدف f_j باشد، فردی از میان افراد منتخب که دارای کمترین مقدار f_j است برگزیده و به مجموعه‌جواب S اضافه می‌شود. این فرایند برای تمام نوارهای هر یک از ابعاد انجام می‌شود. همچنین در این فرایند هر بار که جوابی به مجموعه‌جواب S اضافه می‌شود شماره نوارهایی که آن جواب در هر بعد به آن نوارها تعلق داشته در ماتریس حاوی جواب S ذخیره می‌شود. گفتنی است در نوار s ام تنها جوابی به مجموعه S اضافه می‌شود که توسط جواب انتخاب‌شده در نوار $s-1$ ام احاطه نشده باشد. در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ به صورت نمادین مراحل انتخاب جواب‌هایی که در هر بعد (در راستای هر تابع هدف) به مجموعه‌جواب S اضافه می‌شوند با نمایش داده شده‌اند.

۶- حذف مجموعه‌جواب‌های تکراری: هر چند در مرحله ششم از فرایند بهینه‌سازی جواب‌های بهینه هر بعد استخراج می‌شوند، ولی مجموعه‌جواب به‌دست‌آمده در این مرحله شامل تعدادی جواب تکراری است؛ بنابراین در این مرحله ضروری است فرایند حذف انجام شود. آنچه فرایند حذف نامیده می‌شود، به این ترتیب است که تمامی جواب‌های

کاری متفاوت است، لذا تمامی مراحل که در ادامه خواهد آمد به‌ازای هر یک خوشه‌های شعب به‌صورت مجزا و جداگانه اجرا خواهد شد و هر مجموعه از شعب، جواب بهینه متناسب با خود را خواهند داشت.

مراحل اصلی الگوریتم ژنتیک دو هدفه پیشنهادی به شرح زیر است:

۱- ساخت جمعیت اولیه به صورت تصادفی و محاسبه مقدار هر یک از توابع هدف به ازای هر یک از اعضای جمعیت: به این ترتیب به تعداد np (که همان تعداد اعضای جمعیت اولیه است) بردار $\vec{W}_{c,k}$ با تعداد nf درایه ساخته و به صورت تصادفی مقداردهی اولیه می‌شود.

۲- محاسبه توابع هدف برای هر یک از اعضای جمعیت: در این مرحله مقادیر تابع هدف $f_1(W_c)$ و $f_2(W_c)$ برای کلیه اعضای جمعیت یا همان ماتریس W_c با ابعاد $(np \times nf)$ محاسبه می‌شوند.

۳- تعیین دامنه برش‌های نواری برای هر یک از توابع هدف: در این مرحله برای هر یک از ابعاد مسئله که در واقع توابع هدف مسئله هستند دامنه یا بازه‌ای که باید به وسیله برش‌های نواری مورد بررسی و جستجوی قرار بگیرند مشخص می‌شود. برای این منظور ضروری است از مقادیر کرانی هر یک از توابع هدف $f_1(W_c)$ و $f_2(W_c)$ استفاده شود. به این ترتیب برای هر یک از توابع هدف مقدار بیشینه و کمینه تابع هدف استخراج می‌شود. با توجه به اینکه جمعیت اولیه به صورت تصادفی مقداردهی شده‌اند به احتمال زیاد ممکن است کل دامنه فضای جواب را پوشش‌دهی ننماید به این ترتیب بازه بدست آمده با استفاده از رابطه زیر گسترش داده می‌شود تا طی فرایند تکامل، کل فضای جواب در فرایند جستجو به خوبی پوشش داده شود.

$$Range(f_i) = [\min(f_i) - \Delta_i, \max(f_i) + \Delta_i] \quad (3)$$

و مقدار Δ_i از معادله ۴ بدست می‌آید:

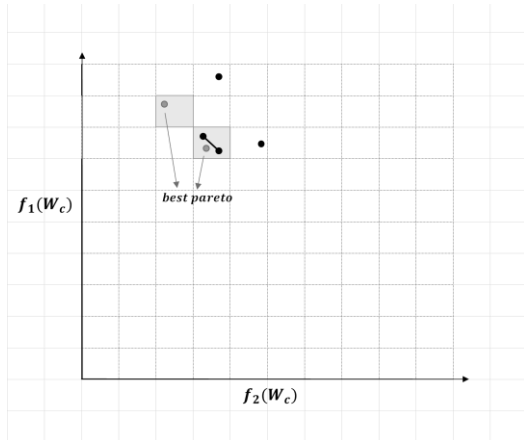
$$\Delta_i = \sigma_{f_i} \quad (4)$$

که در این رابطه σ_{f_i} انحراف معیار جمعیت برای مقادیر تابع هدف f_i خواهد بود.

۴- ساخت نوارها یا برش‌ها در هر بعد: پس از تعیین بازه یا دامنه نوارها می‌بایست عرض یا ضخامت نوارهای برش تعیین شود و سپس فضای جواب در هر بعد به این برش‌ها تقسیم‌بندی شود. در حقیقت برای تعیین ضخامت هر نوار ضروری است تعداد نوارها مشخص شود. تعداد نوار می‌تواند تعیین‌کننده پراکندگی و میزان ازدحام در پرتو جواب بهینه باشد. هرچه این

الف- اگر مجموعه Q_1 تنها شامل یک عضو باشد آن عضو بهینه است و به مجموعه جواب بهینه P اضافه می‌شود.

ب- اگر هر دو مجموعه Q_1 و Q_2 دارای دو عضو باشند هر دو عضو بهینه بوده و به مجموعه جواب بهینه P اضافه می‌شوند.



(شکل ۳-۳) فرایند انتخاب جواب‌های بهینه نهایی
(Figure3-3): The process of selecting the final optimal solution

پ- اگر مجموعه Q_1 دارای دو عضو و مجموعه Q_2 دارای بیش از دو عضو باشد، خط فرضی بین دو عضو مجموعه Q_1 در نظر گرفته می‌شود. در مسائل کمینه‌سازی از میان جواب‌هایی از مجموعه Q_2 که در زیر این خط فرضی قرار می‌گیرند جوابی که بیشترین فاصله متعامد را از این خط فرضی دارد به مجموعه جواب بهینه P اضافه می‌شود و در غیر این صورت دو جواب موجود در مجموعه Q_1 به مجموعه جواب بهینه P اضافه می‌شوند. در مسائل بیشینه‌سازی هم جوابی که در بالای خط فرضی بیشترین فاصله را از خط فرضی دارد به مجموعه بهینه P اضافه می‌شود.

۸- اعمال عملگرهای برش و جهش: همانند هر الگوریتم ژنتیک یکی از الزامات بهبود مجموعه جواب‌های بهینه در هر نسل اعمال عملگرهای برش و جهش است. در این الگوریتم از عملگر برش ترکیب خطی دو فرد والد با تغییرات جزئی استفاده شده است. فرمول مربوط به عملگر برش مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

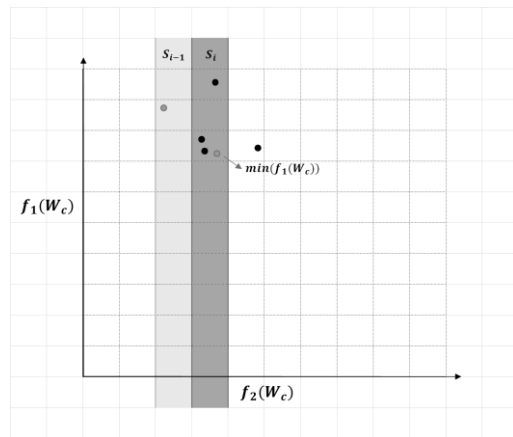
$$\alpha = \text{uniform_random}(-\sigma, 1 + \sigma \cdot \text{nf}) \quad (۶)$$

$$y_1 = \min(\max(\alpha \cdot x_1 + (1 - \alpha) \cdot x_2, \text{vmin}), \text{vmax}) \quad (۷)$$

$$y_2 = \min(\max(\alpha \cdot x_2 + (1 - \alpha) \cdot x_1, \text{vmin}), \text{vmax}) \quad (۸)$$

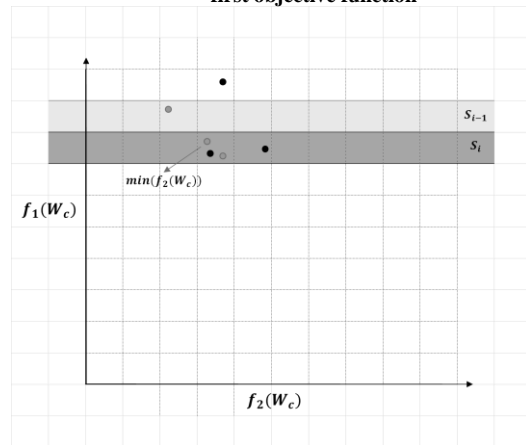
در این رابطه مقدار σ یک مقدار دلخواه در بازه $(0, 1)$ خواهد بود. مقادیر vmin و vmax به

تکراری موجود در مجموعه جواب S حذف و به این ترتیب در این مرحله مجموعه جواب D ساخته می‌شود که این مجموعه جواب فاقد عضو تکراری خواهد بود.



(شکل ۱-۳) فرایند انتخاب پاسخ بهینه در راستای تابع هدف نخست

(Figure3-1): The process of selecting the optimal solution for first objective function



(شکل ۲-۳) فرایند انتخاب پاسخ بهینه در راستای تابع هدف دوم

(Figure3-2): The process of selecting the optimal solution for second objective function

۷- ساخت مجموعه جواب پرتوی بهینه: در این مرحله از اجرای الگوریتم به‌ازای هر یک از جواب‌های موجود در مجموعه جواب D تمامی جواب‌هایی از این مجموعه که دارای شماره نوارهای مشابه در هر دو بعد هستند یا به عبارت دقیق‌تر در یک خانه واقع شده‌اند، تعیین می‌شود و در مجموعه Q_1 قرار داده می‌شوند. این مجموعه حداکثر می‌تواند شامل دو عضو باشد؛ زیرا فضای مسئله دوبعدی است؛ سپس کلیه جواب‌هایی با همین ویژگی که در مرحله نخست و قبل از تعیین جواب‌های کمینه در مجموعه جواب اولیه وجود داشت تعیین می‌شوند و در مجموعه Q_2 قرار داده می‌شوند، سپس براساس فرایند زیر عمل می‌شود:

از چهار روش موجود برای بهینه‌سازی چندهدفه از جمله روش NSGAIII مقایسه شده‌اند.

۵-۱- تجزیه و تحلیل یافته‌های خوشه‌بندی

شعب

همان‌طور که در بخش روش انجام کار اشاره شد، فرایند خوشه‌بندی شعب منجر به استخراج یازده خوشه و یا به عبارت دیگر یازده فضای کسب و کاری مختلف برای شعب بانک مورد بررسی شد. در ادامه این یازده خوشه به صورت کلی توصیف شده‌اند:

- خوشه نخست اغلب شعبی هستند که در مکان‌های پرتردد واقع شده‌اند، ولی مشتریان آنها از نوع مشتریان تجاری با تعاملات بین‌المللی هستند.
- شعب خوشه دوم اغلب در مناطق مسکونی و غیر کسب و کاری واقع شده‌اند.
- خوشه سوم شامل شعبی است که اغلب دارای مشتریان تجاری و شرکتی با ظرفیت‌های بالای اعتبار اسنادی و ضمانت‌نامه‌ای هستند.
- خوشه چهارم شامل شعبی است که در ضمانت‌نامه خوب فعالیت و همچنین منابع بلندمدت خوبی نیز جذب می‌کنند و در مناطقی واقع هستند که مشتریان زیادی در تردد هستند.
- شعب خوشه پنجم شعبی هستند که اغلب در حوزه ارز فعالیت داشته و همچنین منابع خوبی نیز جذب می‌کنند و همچنین مناسب برای بازاریابی پایانه‌های فروش به نظر می‌رسند.
- خوشه ششم شامل شعبی است که در مناطق متوسط شهری واقع شده‌اند؛ به عبارت دیگر درآمد افراد و سطح معاملات در سطح متوسط در حال انجام است.
- شعب خوشه هفتم شعبی هستند که در مناطق اصلی کسب و کاری خرد و تجاری واقع شده‌اند و دارای مشتریان کلان و مدرن است.
- شعب خوشه هشتم شعبی هستند که در مناطق پرجمعیت و مسکونی- تجاری واقع شده‌اند و دارای طیف متنوعی از مشتریان هستند.
- شعب خوشه نهم شعبی هستند که در خیابان‌های اصلی شهر و مراکز سازمانی قرار دارند و بیشتر مشتریان سازمانی و شرکتی جذب کرده‌اند؛ در حالی که پتانسیل جذب مشتریان کسب و کار خرد نیز در این مناطق وجود دارد.

ترتیب کران بالا و کران پایین مقادیری هستند که هر ژن در هر کروموزوم یا به عبارت دیگر در مسئله بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد هر یک از ضرایب می‌توانند اختیار کنند. این مقادیر در این مسئله به ترتیب صفر و یک هستند. اعمال این عملگر برش در فضای جواب محدب منجر به تولید فرزندهایی خارج از فضای جواب نمی‌شود. برای عملگر جهش نیز به این ترتیب عمل شده است که یک ژن به صورت تصادفی انتخاب و با یک مقدار تصادفی جایگزین می‌شود.

۹- انتخاب والدین برای نسل بعد براساس معیار خبرگی: در این الگوریتم نخبگی معیار انتخاب افراد یا والدین نسل بعد است. به این ترتیب مجموعه P در هر نسل شامل جواب‌های بهینه یافت‌شده در همان نسل هستند که به نسل بعد منتقل خواهند شد.

۱۰- تکرار نسل و بررسی شرط خاتمه: تمامی مراحل ۲ تا ۹ تا محقق‌نشدن شرط خاتمه الگوریتم تکرار می‌شوند. شرط خاتمه می‌تواند تعداد از قبل تعیین‌شده تکرار یا هر شرط دیگری که بتوان از تحقق آن اطمینان یافت باشد. در اکثر روش‌های ارائه شده تعداد مشخصی تکرار به عنوان شرط خاتمه الگوریتم استفاده می‌شود که در این الگوریتم هم همین معیار برای خاتمه در نظر گرفته شده است.

۱۱- حذف پاسخ‌های غیربهینه مرزی: با توجه به اینکه در الگوریتم پیشنهادی صرفاً پاسخ‌ها براساس نوارهایی که در آنها مشاهده شده‌اند انتخاب می‌شوند. پس از پایان الگوریتم ژنتیک یک مرحله پایانی برای حذف پاسخ‌های غیربهینه مرزی ضروری به نظر می‌رسد. در این مرحله تمامی پاسخ‌های یافت شده براساس شماره نوار در هر بعد مرتب‌سازی می‌شوند چنانچه چند پاسخ در بعد اول در یک نوار یکسان واقع شده باشند براساس اینکه مقدار تابع هدف کدام یک در بعد دوم بهتر است گزینش می‌شوند و سایر پاسخ‌ها از مجموعه جواب بهینه P حذف می‌شوند.

۵- نتایج

در این بخش به تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های تحقیق پرداخته شده است. این بخش، شامل دو زیربخش اصلی است در بخش اول به نتایج حاصل از فرایند خوشه‌بندی شعب و خوشه‌های استخراج شده و تفسیر خوشه‌ها پرداخته شده است و در بخش دوم نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک دوهدفه پیشنهادی با یافته‌های حاصل

- خوشه دهم شامل شعبی است که اغلب در شهرهای کوچک با پتانسیل‌های محدود واقع شده‌اند و تعداد زیادی از هم‌وطنان اهل تسنن مشتریان این شعب هستند، و پتانسیل بالاتر جذب منابع قرض‌الحسنه به همین علت است.
- شعب خوشه یازدهم شعبی هستند که در مناطق صنعتی و تجاری سنتی واقع شده‌اند.

۵-۲- تجزیه و تحلیل یافته‌های الگوریتم بهینه‌سازی دوهدفه پیشنهادی

نتایج روش پیشنهادی با چهار روش NSGAII، SPEAII، MOEA/D و PESAII مقایسه شده‌اند. به طور کلی در این مقاله از معیارهای ارزیابی رایج در حوزه مسائل بهینه‌سازی چند هدفه شامل GD، S، H و HV براساس فرمول ارائه در [4] استفاده است، این معیارها از رایج‌ترین معیارهای ارزیابی بوده و در مسائل متعدد از جمله [1,2,6,5,7,8,9] مبنای ارزیابی نتایج هستند. همچنین زمان اجرا به‌عنوان معیاری دیگر به مجموعه معیارهای ارزیابی اضافه شده است، این معیار در بسیاری از مقالات از جمله [6,8] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و چهار روش نامبرده در حل مسئله بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد شعب بانک مورد بررسی براساس معیارهای ارزیابی S، HV و زمان اجرا مقایسه می‌شوند؛ همچنین نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی و این چهار روش برای حل گروه مسائل ZDT [11] براساس معیارهای ارزیابی S، H و زمان اجرا با هم مقایسه شده‌اند.

۵-۲-۱- مسائل بهینه‌سازی ضرایب اهمیت

در این بخش نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی دوهدفه پیشنهادی بر روی کلیه شعب بانک و همچنین ۱۱ خوشه یا گروه کسب و کاری مختلف ارائه شده و مجموعه‌جواب‌های بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با مجموعه‌جواب‌های حاصل از اعمال چهار روش NSGAII، SPEAII، MOEA/D و PESAII مقایسه شده‌اند. در شکل (۱-۴) جبهه پرتوی حاصل از الگوریتم پیشنهادی و چهار الگوریتم یادشده به تفکیک هر خوشه و همچنین برای کلیه شعب قابل مشاهده هستند. نتایج ارائه‌شده در این شکل مربوط به اجرای هر یک از الگوریتم‌های مورد بررسی با پنج‌هزار نسل تکرار است.

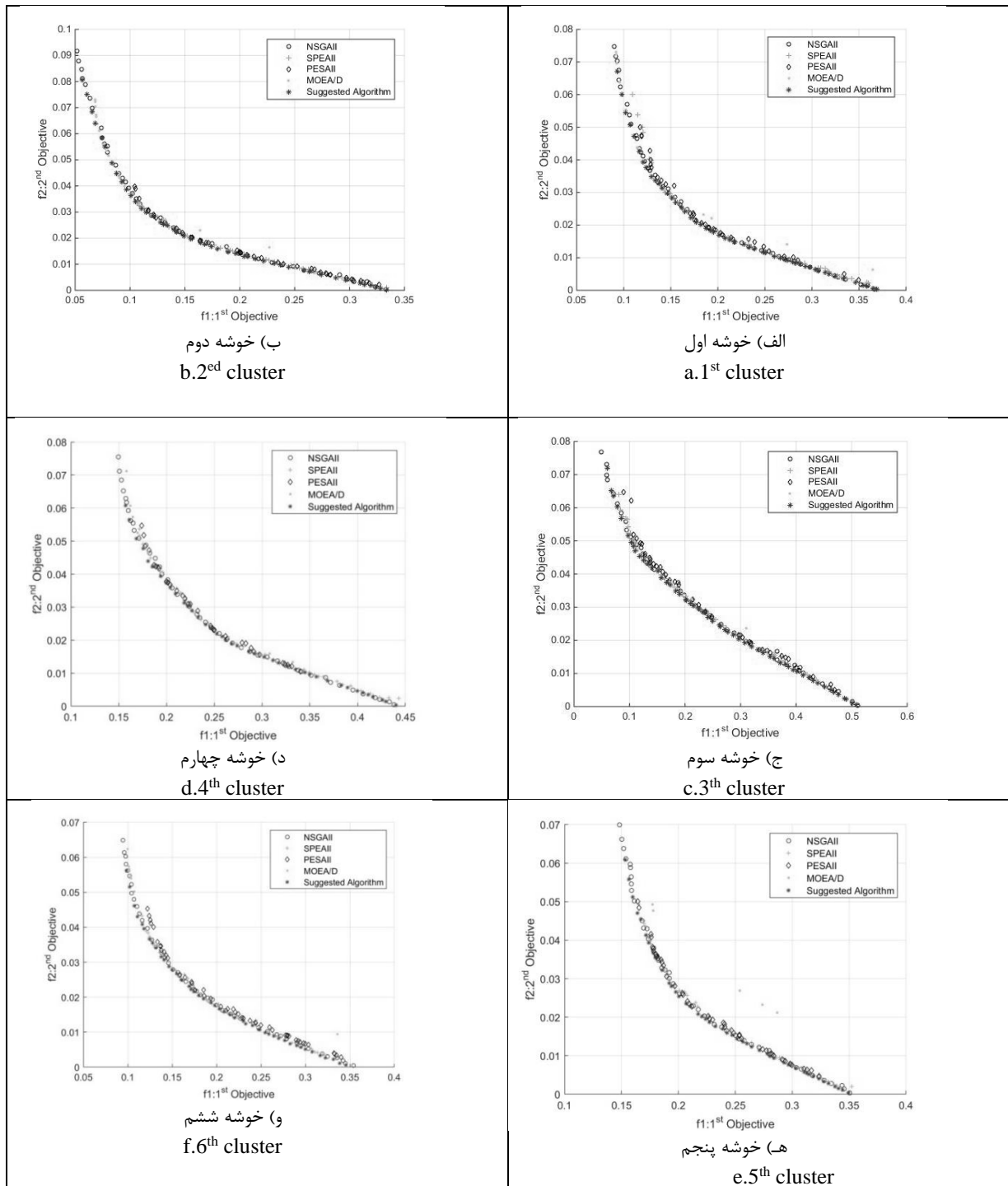
نسبت اعمال عملگر برش $0/8$ و نسبت اعمال عملگر جهش $0/2$ در نظر گرفته شده است. در این مقایسه تعداد جمعیت هر نسل برای تمامی الگوریتم‌ها برابر با پنجاه و جمعیت آرشیو در الگوریتم‌های SPEAII و PESAII و MOEA/D برابر با پنجاه در نظر گرفته شده است. تعداد ابرمکعب در الگوریتم PESAII برابر با هفت در نظر گرفته شده است. همچنین در الگوریتم MOEA/D از روش چبیشف برای تبدیل مسئله چندهدفه به مسائل بهینه‌سازی عددی استفاده شده است؛ درنهایت اینکه تعداد نوارها برای الگوریتم پیشنهادی برابر با 120 در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۴-۱ مشاهده می‌شود، درکل در تمامی خوشه‌ها و همچنین کلیه شعب الگوریتم پیشنهادی دارای هم‌گرایی بهتری نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی است.

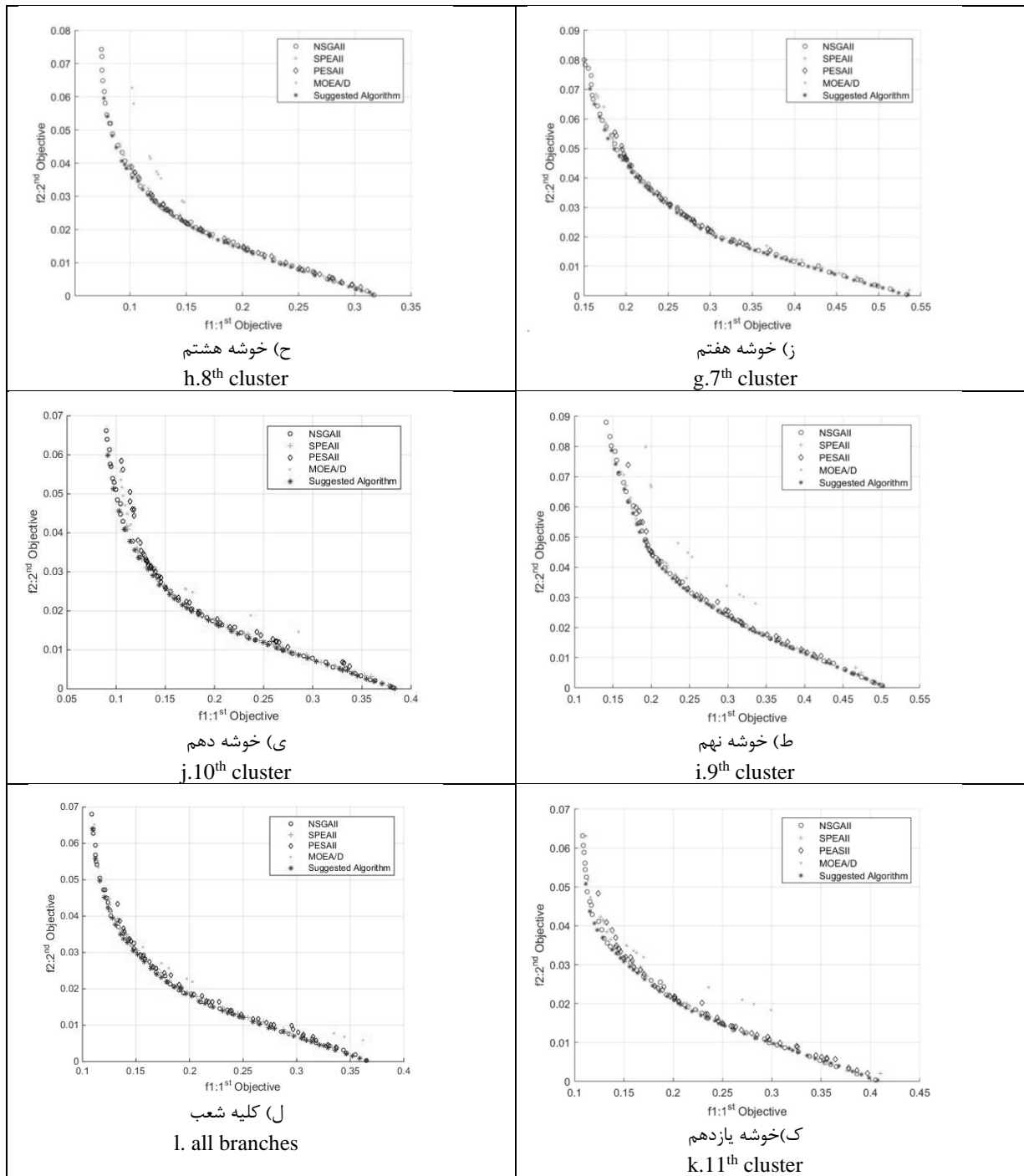
در جداول (۴-۱) تا (۴-۳) معیارهای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با چهار الگوریتم دیگر ارائه شده است. نتایج ارائه‌شده در این جداول مربوط به میانگین و انحراف معیار نتایج حاصل از سی‌بار اجرای الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها بر روی کلیه شعب و یازده خوشه مورد بررسی است. گفتنی است با توجه به این‌که در مسئله مورد بررسی مجموعه‌جواب بهینه در دسترس نیست امکان محاسبه شاخص‌های GD و همچنین H وجود نخواهد داشت و تنها معیارهای S و HV و زمان اجرا قابل محاسبه هستند.

در جدول (۴-۱) میانگین و انحراف معیار مقادیر معیار S حاصل از سی‌بار اجرای الگوریتم‌های مورد بررسی بر روی کلیه شعب و هر یک از یازده خوشه شعب ارائه شده است. براساس تعریف ارائه شده در [4] معیار S میزان یکنواختی مجموعه‌جواب را ارزیابی می‌کند و هر چه مقدار این معیار کوچک‌تر باشد به این معنی است که مجموعه‌جواب مورد نظر دارای توزیع یکنواخت‌تری است. همان‌طور که در جدول (۴-۱) مشاهده می‌شود در تمامی دوازده مسئله مورد بررسی مجموعه‌جواب حاصل از الگوریتم پیشنهادی در این مقاله دارای معیار S کمتری است؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت که مجموعه‌جواب حاصل از الگوریتم پیشنهادی دارای توزیع یکنواخت‌تری نسبت به مجموعه‌جواب حاصل از چهار روش دیگر است. همان‌طور که در جدول (۴-۱) مشاهده می‌شود، الگوریتم NSGAII و SPEAII از نظر معیار S در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند.

بنابراین هر چه مقدار معیار HV بیشتر باشد، به این معنی است که مجموعه جواب مورد نظر حجم بیشتری از فضای هدف را پوشش‌دهی می‌کند.

در جدول ۴-۲ میانگین و انحراف معیار مقادیر معیار HV حاصل از سی‌بار اجرای الگوریتم‌های مورد بررسی بر روی کلیه شعب و هر یک از یازده خوشه شعب ارائه شده است. معیار HV حجم پوشش داده‌شده از فضای هدف توسط مجموعه جواب حاصل را محاسبه می‌کند [4]؛





(شکل ۴-۱) مقایسه جبهه پرتو حاصل از الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های NSGAI، SPEAI، PEASII و MOEA/D بر روی مسئله بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد به تفکیک هر خوشه و کلیه شعب. الف) خوشه اول (ب) خوشه دوم (ج) خوشه سوم (د) خوشه چهارم (ه) خوشه پنجم (و) خوشه ششم (ز) خوشه هفتم (ح) خوشه هشتم (ط) خوشه نهم (ی) خوشه دهم (ک) خوشه یازدهم (ل) کلیه شعب

(Figure4-1): Comparison of the Pareto front from the suggested algorithm and NSGAI, SPEAI, PEASII and MOEA/D on the problem of optimizing the weights of Branch's KPIs for each cluster and all branches

(جدول ۴-۱) میانگین و انحراف معیار در معیار S در مجموعه مسائل بهینه‌سازی ضرایب اهمیت

(Table4-1): Mean and standard deviation of S indicator

MOEA/D	PESAII	SPEAII	NSGAII	الگوریتم پیشنهادی	مسائل
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
1.89e-02 (1.93e-02)	3.39e-03 (9.17e-04)	2.82e-03 (8.44e-04)	2.52e-03 (3.51e-04)	2.02e-03 (2.66e-04)	کل شعب
2.35e-02 (1.41e-02)	3.88e-03 (1.17e-03)	2.72e-03 (8.18e-04)	2.79e-03 (3.47e-04)	2.24e-03 (3.05e-04)	خوشه اول
1.76e-02 (1.31e-02)	3.56e-03 (9.43e-04)	2.64e-03 (8.16e-04)	2.86e-03 (4.38e-04)	2.39e-03 (2.97e-04)	خوشه دوم
2.91e-02 (1.87e-02)	5.18e-03 (1.41e-03)	4.50e-03 (1.05e-03)	3.95e-03 (4.36e-04)	2.42e-03 (3.12e-04)	خوشه سوم
3.01e-02 (1.93e-02)	3.36e-03 (7.92e-04)	2.76e-03 (9.64e-04)	2.69e-03 (4.25e-04)	2.06e-03 (2.80e-04)	خوشه چهارم
2.03e-02 (1.14e-02)	2.54e-03 (8.58e-04)	1.93e-03 (5.24e-04)	1.90e-03 (2.58e-04)	1.72e-03 (2.71e-04)	خوشه پنجم
1.48e-02 (9.78e-03)	3.66e-03 (1.38e-03)	2.49e-03 (6.12e-04)	2.43e-03 (3.83e-04)	1.99e-03 (3.37e-04)	خوشه ششم
3.69e-02 (2.66e-02)	4.27e-03 (1.46e-03)	3.61e-03 (5.56e-04)	3.51e-03 (4.40e-04)	2.59e-03 (4.12e-04)	خوشه هفتم
1.50e-02 (9.20e-03)	2.90e-03 (8.07e-04)	2.43e-03 (8.58e-04)	2.28e-03 (2.99e-04)	1.84e-03 (2.26e-04)	خوشه هشتم
3.31e-02 (1.90e-02)	4.37e-03 (1.54e-03)	4.05e-03 (1.45e-03)	3.34e-03 (4.70e-04)	2.16e-03 (3.04e-04)	خوشه نهم
2.02e-02 (1.29e-02)	3.69e-03 (9.62e-04)	3.17e-03 (1.10e-03)	2.81e-03 (3.64e-04)	2.25e-03 (2.89e-04)	خوشه دهم
2.92e-02 (2.05e-02)	3.84e-03 (8.35e-04)	3.15e-03 (1.02e-03)	2.76e-03 (3.66e-04)	2.11e-03 (3.16e-04)	خوشه یازدهم

(جدول ۴-۲) میانگین و انحراف معیار در معیار HV در مجموعه مسائل بهینه‌سازی ضرایب اهمیت

(Table4-2): Mean and standard deviation of HV indicator

MOEA/D	PESAII	SPEAII	NSGAII	الگوریتم پیشنهادی	مسائل
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
6.97e-03 (3.77e-03)	6.98e-03 (1.87e-03)	7.49e-03 (1.18e-03)	1.35e-02 (4.37e-04)	1.09e-02 (8.47e-04)	کل شعب
8.60e-03 (4.34e-03)	7.98e-03 (1.56e-03)	8.61e-03 (1.67e-03)	1.63e-02 (5.08e-04)	1.43e-02 (7.56e-04)	خوشه اول
7.87e-03 (3.81e-03)	6.79e-03 (1.65e-03)	7.07e-03 (1.86e-03)	2.13e-02 (9.25e-04)	1.65e-02 (1.46e-03)	خوشه دوم
1.23e-02 (5.35e-03)	1.11e-02 (2.89e-03)	1.59e-02 (1.93e-03)	2.33e-02 (6.37e-04)	2.14e-02 (9.48e-04)	خوشه سوم
8.87e-03 (4.50e-03)	7.32e-03 (2.25e-03)	8.35e-03 (1.14e-03)	1.59e-02 (3.53e-04)	1.37e-02 (9.54e-04)	خوشه چهارم
5.00e-03 (2.70e-03)	4.13e-03 (1.47e-03)	5.10e-03 (8.99e-04)	1.03e-02 (4.13e-04)	8.98e-03 (6.77e-04)	خوشه پنجم
6.52e-03 (2.80e-03)	6.44e-03 (1.39e-03)	6.82e-03 (1.12e-03)	1.24e-02 (2.35e-04)	1.09e-02 (5.68e-04)	خوشه ششم
1.20e-02 (5.46e-03)	1.02e-02 (2.30e-03)	1.16e-02 (2.19e-03)	2.21e-02 (9.25e-04)	1.98e-02 (9.09e-04)	خوشه هفتم
6.16e-03 (2.84e-03)	4.60e-03 (8.27e-04)	5.39e-03 (8.04e-04)	1.17e-02 (1.08e-03)	9.34e-03 (8.38e-04)	خوشه هشتم
1.32e-02 (4.88e-03)	1.01e-02 (2.75e-03)	1.42e-02 (1.72e-03)	2.22e-02 (3.60e-04)	2.08e-02 (8.48e-04)	خوشه نهم
7.69e-03 (3.88e-03)	7.59e-03 (1.35e-03)	7.71e-03 (1.39e-03)	1.50e-02 (5.50e-04)	1.26e-02 (9.25e-04)	خوشه دهم
7.23e-03 (2.58e-03)	7.81e-03 (1.60e-03)	7.81e-03 (1.41e-03)	1.28e-02 (4.97e-04)	1.04e-02 (1.32e-03)	خوشه یازدهم

جدول ۴-۳) میانگین و انحراف معیار زمان اجرا در مجموعه مسائل بهینه سازی ضرایب اهمیت

(Table4-3): Mean and standard deviation of run time

MOEA/D	PESAII	SPEAII	NSGAII	الگوریتم پیشنهادی	مسائل
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
726 (74)	539 (28)	1061 (58)	905 (65)	241 (20)	کل شعب
667 (65)	473 (29)	1057 (56)	873 (42)	173 (12)	خوشه اول
692 (61)	505 (23)	1044 (60)	901 (52)	213 (15)	خوشه دوم
690 (69)	488 (23)	1063 (50)	857 (53)	177 (12)	خوشه سوم
657 (59)	470 (23)	1026 (47)	864 (45)	169 (13)	خوشه چهارم
641 (73)	456 (24)	1029 (41)	861 (44)	160 (11)	خوشه پنجم
668 (57)	471 (26)	1015 (58)	880 (45)	169 (10)	خوشه ششم
647 (64)	454 (33)	989 (67)	842 (53)	166 (12)	خوشه هفتم
678 (65)	481 (28)	1039 (52)	869 (58)	165 (14)	خوشه هشتم
670 (60)	477 (33)	1017 (67)	830 (41)	181 (20)	خوشه نهم
646 (80)	464 (34)	1017 (58)	869 (44)	167 (12)	خوشه دهم
636 (60)	459 (25)	1034 (51)	840 (60)	160 (12)	خوشه یازدهم

جدول ۴-۴) میانگین و انحراف معیار در معیار GD در مسائل ZDT

Table4-4: Mean and standard deviation of GD indicator for ZDT benchmarks

MOEA/D	PESAII	SPEAII	NSGAII	الگوریتم پیشنهادی	مسائل
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
1.41e-01 (1.67e-01)	2.76e-03 (1.01e-03)	8.58e-03 (1.40e-03)	4.41e-04 (4.33e-05)	4.09e-04 (5.74e-05)	ZDT1
8.94e-01 (7.20e-01)	6.08e-03 (2.02e-03)	7.00e-03 (1.48e-03)	3.85e-04 (2.90e-05)	3.83e-04 (5.64e-05)	ZDT2
1.08e-01 (2.89e-02)	2.87e-03 (8.01e-04)	3.10e-03 (6.74e-04)	1.21e-03 (1.11e-04)	1.62e-03 (2.40e-04)	ZDT3
1.26e+00 (8.83e-01)	3.38e-04 (5.31e-05)	7.61e-04 (6.22e-04)	4.16e-04 (4.76e-05)	3.63e-04 (2.54e-05)	ZDT4
9.06e-01 (1.47e+00)	2.35e-01 (2.11e-01)	3.40e-03 (3.87e-03)	3.31e-03 (2.02e-03)	3.00e-04 (2.44e-05)	ZDT6

جدول ۴-۵) میانگین و انحراف معیار در معیار S در مسائل ZDT

(Table4-5): Mean and standard deviation of S indicator for ZDT benchmarks

MOEA/D	PESAII	SPEAII	NSGAII	الگوریتم پیشنهادی	مسائل
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
4.03e-02 (2.05e-02)	2.64e-02 (7.16e-03)	1.69e-02 (3.59e-03)	1.34e-02 (1.96e-03)	1.28e-02 (2.56e-03)	ZDT1
5.58e-02 (3.66e-02)	2.67e-02 (6.69e-03)	1.66e-02 (4.78e-03)	1.37e-02 (1.94e-03)	9.34e-03 (9.61e-04)	ZDT2
4.17e-02 (1.64e-02)	4.97e-02 (1.84e-02)	2.30e-02 (6.08e-03)	1.64e-02 (1.98e-03)	5.11e-02 (5.16e-03)	ZDT3
1.07e-01 (8.91e-02)	3.81e-02 (8.62e-03)	2.22e-02 (7.80e-03)	1.38e-02 (2.25e-03)	2.06e-02 (5.10e-03)	ZDT4
6.08e-02 (6.03e-02)	1.79e-02 (4.78e-03)	1.42e-02 (2.86e-03)	1.33e-02 (2.85e-03)	9.63e-03 (1.55e-03)	ZDT6

جدول (۴-۶) میانگین و انحراف معیار در معیار H در مسائل ZDT

(Table4-6): Mean and standard deviation of H indicator for ZDT benchmarks

MOEA/D	PESAII	SPEAII	NSGAII	الگوریتم پیشنهادی	مسائل
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
7.16e-01 (1.83e-01)	9.43e-01 (9.21e-02)	9.33e-01 (5.98e-02)	1.02e+00 (9.11e-04)	9.05e-01 (5.32e-02)	ZDT1
7.47e-01 (5.28e-01)	1.01e+00 (6.61e-02)	9.99e-01 (2.37e-02)	1.03e+00 (2.54e-03)	1.02e+00 (8.50e-04)	ZDT2
4.74e-01 (1.09e-01)	9.89e-01 (1.39e-01)	9.53e-01 (5.66e-02)	1.00e+00 (1.17e-03)	1.02e+00 (3.64e-02)	ZDT3
1.27e+00 (1.33e+00)	1.01e+00 (4.45e-02)	8.27e-01 (9.07e-02)	1.02e+00 (1.11e-03)	9.95e-01 (3.72e-02)	ZDT4
8.69e-01 (6.69e-01)	8.33e-01 (1.49e-01)	9.66e-01 (4.95e-02)	1.17e+00 (1.05e-01)	1.02e+00 (5.09e-03)	ZDT6

جدول (۴-۷) میانگین و انحراف معیار زمان اجرا در مسائل ZDT

(Table4-7): Mean and standard deviation of run time for ZDT benchmark

MOEA/D	PESAII	SPEAII	NSGAII	الگوریتم پیشنهادی	مسائل
میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	میانگین (انحراف معیار)	
527 (76)	483 (49)	827 (87)	628 (68)	118 (13)	ZDT1
518 (72)	560 (54)	687 (38)	537 (33)	102 (7)	ZDT2
502 (50)	365 (29)	758 (59)	604 (51)	89 (8)	ZDT3
583 (144)	573 (42)	823 (158)	651 (128)	75 (12)	ZDT4
519 (73)	499 (38)	729 (67)	582 (46)	77 (5)	ZDT6

لذا امکان محاسبه کلیه سه معیار ارزیابی GD و S و H فراهم بوده و بنابراین امکان مقایسه کیفیت مجموعه‌جواب حاصل از الگوریتم پیشنهادی و سایر روش‌ها بهتر فراهم خواهد شد.

در ادامه نتایج حاصل از الگوریتم تکاملی دوهدفه پیشنهادی و چهار الگوریتم PESAII، SPEAII، NSGAII و MOEA/D با مجموعه‌جواب بهینه پرتوی هر یک از مسائل ZDT با هم مقایسه شده‌اند. نتایج ارائه شده مربوط به اجرای هر یک از الگوریتم‌های مورد بررسی با پنج‌هزار نسل تکرار است. نسبت اعمال عملگر برش ۰/۸ و نسبت اعمال عملگر جهش ۰/۲ در نظر گرفته شده است. در این مقایسه تعداد جمعیت هر نسل برای تمامی الگوریتم‌ها برابر با پنجاه و جمعیت آرشیو در الگوریتم‌های SPEAII و PESAII برابر با پنجاه در نظر گرفته شده است. تعداد ابرمکعب در الگوریتم PESAII برابر با ۷ در نظر گرفته شده است. همچنین در الگوریتم MOEA/D از روش چپیشف برای تبدیل مسئله چندهدفه به مسائل

۴-۳- مسائل بهینه‌سازی مسائل چندهدفه ZDT

به‌منظور ارائه الگوریتم تکاملی دوهدفه پیشنهادی در قالب یک روش استاندارد ضروری است عملکرد الگوریتم پیشنهادی بر روی مسائل محک استاندارد نیز با عملکرد سایر الگوریتم‌های مطرح در حوزه الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه مقایسه شود، برای همین منظور خانواده مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ZDT مورد بررسی قرار گرفته شده‌اند. خانواده مسائل بهینه‌سازی چند هدفه ZDT ارائه شده توسط [11] شامل پنج مسئله هستند. این مسائل از جمله مسائل محک رایج هستند که در مقالات متعدد [6,7,8,9,10] برای ارزیابی عملکرد و کارایی الگوریتم‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مقاله هم این خانواده مسائل برای ارزیابی نتایج الگوریتم پیشنهادی مبنای مقایسه قرار گرفته‌اند. این مقایسه از این نظر ضروری به نظر می‌رسد که در این مجموعه از مسائل محک با توجه به اینکه مجموعه‌جواب پرتو بهینه در دسترس

بهینه‌سازی عددی استفاده شده است. در نهایت اینکه تعداد نوارها برای الگوریتم پیشنهادی برابر با صد در نظر گرفته شده است.

در جداول (۴-۴ تا ۷-۴) مقایسه نتایج حاصل از حل خانواده مسائل ZDT با الگوریتم پیشنهادی و چهار روش مطرح شده ارائه شده است. در این جداول مقادیر میانگین و انحراف معیار سه معیار S، GD، H و زمان اجرا برای سی بار اجرا با تعداد پنج هزار نسل ارائه شده است.

نتایج ارائه شده در جدول (۴-۴) امکان مقایسه میانگین و انحراف معیار نتایج روش پیشنهادی و چهار روش MOEA/D، PESAI، SPEAI، NSGAI در سی اجرا برای هر یک از مسائل خانواده مسائل ZDT را فراهم می‌آورد. معیار GD فاصله مجموعه جواب از مجموعه جواب بهینه پرتو را اندازه‌گیری می‌کند [4]. به این ترتیب که هر چه مقدار این معیار کمتر باشد مجموعه جواب به دست آمده به مجموعه جواب بهینه پرتو نزدیکتر است و به این ترتیب الگوریتم مورد نظر دارای معیار بهینگی بهتری است.

همان‌طور که در جدول (۴-۴) مشاهده می‌شود، در معیار GD در سه مسئله (ZDT1، ZDT2، ZDT6) از پنج مسئله الگوریتم پیشنهادی دارای مقادیر کوچک‌تری نسبت به چهار روش دیگر است و در نتیجه دارای معیار بهینگی بهتری نسبت به چهار روش دیگر است. در دو مسئله دیگر (DT3 و ZDT4) الگوریتم پیشنهادی در رتبه دوم واقع شده است. به‌طور کلی همان‌طور که در جدول (۴-۴) مشاهده می‌شود از نظر معیار GD الگوریتم پیشنهادی در جایگاه نخست و الگوریتم NSGAI در جایگاه دوم قرار دارد.

در جدول (۴-۵) میزان میانگین و انحراف معیار نتایج مربوط به معیار S برای الگوریتم پیشنهادی و سایر چهار روش دیگر در سی اجرا ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی در مسائل ZDT1، ZDT2 و ZDT6 دارای معیار S کمتری نسبت به سایر روش‌ها است؛ و این در حالی است که روش NSGAI در دو مسئله از پنج مسئله دارای عملکرد بهتری در معیار S است. الگوریتم پیشنهادی تنها در مسئله ZDT3 دارای عملکرد مناسبی ناست.

در جدول (۴-۶) مقادیر میانگین و انحراف معیار نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی و چهار روش دیگر در معیار H قابل مشاهده است. هر چه معیار H به مقدار یک نزدیک‌تر باشد مجموعه جواب حجم بیشتری از فضای

هدف را پوشش‌دهی کرده است [4]. همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی در دو مسئله (ZDT4 و ZDT6) از پنج مسئله خانواده مسائل ZDT دارای معیار H بهتری نسبت به سایر چهار روش است. روش NSGAI هم در دو مسئله ZDT1 و ZDT3 نسبت به سایر روش‌ها و روش پیشنهادی معیار H بهتری ارائه کرده است. به‌طور کلی در رابطه با معیار H نمی‌توان در رابطه با برتری یک روش نسبت به سایر روش‌ها اظهار نظر قطعی نمود.

در جدول (۴-۷) میانگین و انحراف معیار زمان اجرای حاصل از سی بار اجرای هر یک از الگوریتم‌های مورد بررسی با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی در تمامی مسائل با اختلاف نسبت به سایر روش‌ها دارای زمان اجرای کمتر و سریع‌تر است و در بهترین حالت زمان اجرای سایر چهار روش مورد بررسی بیش از چهار برابر زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی است؛ بنابراین براساس نتایج ارائه شده در این بخش و بخش قبل می‌توان نتیجه‌گیری کرد الگوریتم پیشنهادی با زمان اجرای بسیار کمتر نتایج مطلوبی نسبت به سایر روش‌ها رایج ارائه می‌کند.

۵- جمع‌بندی

پژوهش حاضر با هدف ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی یک مسئله دوهدفه پیاده‌سازی شده است. مسئله مورد بررسی بهینه‌سازی شاخص‌های ارزیابی عملکرد شعب بانک مورد بررسی براساس فضای کسب و کاری است. در گام نخست به منظور استخراج فضای کسب و کاری شعب فرایند خوشه‌بندی شعب با استفاده از روش kmeans انجام شد. خوشه‌بندی شعب منجر به استخراج یازده خوشه شعب یا یازده فضای کسب و کاری متفاوت شد.

در این مقاله یک الگوریتم ژنتیک دوهدفه مبتنی بر برش‌های نواری فضای جستجو در راستای هر تابع هدف ارائه شد. به منظور ایجاد قابلیت مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی با چهار روش شناخته‌شده و کارآمد در حوزه بهینه‌سازی چندهدفه به نام‌های NSGAI، SPEAI، PESAI و MOEA/D مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان داد که در تمامی خوشه‌ها و همچنین کلیه شعب، مجموعه جواب حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی نسبت به مجموعه جواب‌های حاصل از سایر روش‌های مورد مقایسه به لحاظ شاخص بهینگی دارای عملکرد

- [5] X. Lu, Y. Tan, W. Zheng and M. Lili, "A Decomposition Method Based on Random Objective Division for MOEA/D in Many-Objective Optimization," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 103550 - 103564, 2020.
- [6] N. Patel and N. Padhiyar, "Fast Mesh-Sorting in Multi-objective Optimization," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 8, pp. 936-941, 2015.
- [7] Y. Salgueiro, R. Falcon and R. Bello, "Multiobjective Variable Mesh Optimization," *Annals of Operations Research*, 2017.
- [8] F. Wang, Y. Li, H. Zhang, T. Hu and X. Shen, "An adaptive weight vector guided evolutionary algorithm for preference-based multi-objective optimization," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 49, p. 220-233, 2019.
- [9] W. Wang, K. Li, X. Tao and F. Gu, "An improved MOEA/D algorithm with an adaptive evolutionary strategy," *Information Sciences*, vol. 539, pp. 1-15, 2020.
- [10] Q. Zhang and H. Li, "MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition," *IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION*, vol. 11, no. 6, pp. 712 - 731, 2007.
- [11] E. Zitzler, K. Deb and L. Thiele, "Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results," *Evolutionary Computation*, vol. 8, no. 2, pp. 173-195, 2000.



الهام حامدی فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر- گرایش هوش مصنوعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران هستند.

نشانه رایانامه ایشان عبارت است از:

elhamhamedi84@gmail.com



میترا میرزازاده استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران هستند. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان، یادگیری ماشینی و شناسایی الگو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

mirzarezae@srbiau.ac.ir

مناسب است. براساس نتایج ارائه شده در رابطه با معیار S الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد بررسی عملکرد بهتری را ارائه می‌دهد. در رابطه با معیار HV نتایج نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم NSGAII نسبت به سایر روش‌ها است؛ علاوه بر مسئله مورد بررسی، عملکرد الگوریتم پیشنهادی و چهار الگوریتم اشاره شده در حل مسائل خانواده مسائل ZDT با هم مقایسه شده است. براساس نتایج به دست آمده الگوریتم پیشنهادی در سه مسئله از پنج مسئله خانواده مسائل ZDT دارای معیار GD بهتر بوده و در کل در میان پنج روش الگوریتم پیشنهادی در معیار GD نتایج بهتری ارائه کرده است. در معیار S در سه مسئله از پنج مسئله الگوریتم پیشنهادی بهترین نتایج را ارائه کرده است. در خصوص معیار ارزیابی H براساس نتایج ارائه شده در دو مسئله از پنج مسئله الگوریتم پیشنهادی بهترین نتایج را ارائه کرده است.

آنچه در میان نتایج ارائه شده قابل ملاحظه و حائز اهمیت است، عملکرد الگوریتم پیشنهادی در رابطه با زمان اجراست که هم در مجموعه مسائل بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد شعب و هم در خانواده مسائل ZDT زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی نسبت به تمامی چهار روش مورد بررسی دیگر به میزان قابل توجهی کمتر است. به این ترتیب الگوریتم پیشنهادی بسیار سریعتر از روش‌های مورد بررسی بوده و در زمان بسیار کمتر، عملکرد مطلوبی ارائه می‌کند که به دلیل استفاده از روش نوآوری پیشنهادی است.

6- Refrence

۶- مراجع

- [1] C. R. Atencia, J. D. Ser and D. Camacho, "Weighted strategies to guide a multi-objective evolutionary algorithm for multi-UAV mission planning," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 44, pp. 480-495, 2018.
- [2] K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap and M. T, "A Fast Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization: NSGA-II," in *International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, 2000.
- [3] S. Hiwa, M. Nishioka, T. Hiroyasu and M. Miki, "Novel Search Scheme for Multi-Objective Evolutionary Algorithms to Obtain Well-Approximated and Widely Spread Pareto Solutions," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 22, pp. 30-46, 2015.
- [4] P. K. Jamwal, B. Abdikenov and S. Hussain, "Evolutionary Optimization Using Equitable Fuzzy Sorting Genetic Algorithm (EFSGA)," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 8111 - 8126, 2019.

