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

الهام حامدی و میترا میرزا رضایی*

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 تعییـن ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد مبتنی بر فضای کسب و کاری به یک چالش برای مدیران بانکی تبدیل شده است. در ایـن مقاله مسئله بهینه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد شعب در یکی از بانک‌های دولتی ایران با در نظرگرفتن 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 Mirzarezaee*

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

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۲/۲۱ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۲ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۷/۳۰ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

the third section, we are comparing the performance of the proposed two-objective genetic algorithm on the defined problem with the performance of four well-known multi-objective algorithms including NSGAII, SPEAII, PESAII, and MOEA/D. And finally, the set of ZDT problems which is a standard set of multi-objective problems is taken into account for evaluating the general performance of the proposed algorithm comparing four well-known multi-objective algorithms.

Our proposed solution for solving the problem of optimizing branch performance coefficients includes two main steps. First, identifying the business environment of the branches and second, optimizing the coefficients with the proposed two-objective genetic algorithm. In the first step, the k-means clustering algorithm is applied to cluster branches with similar business environments. In the second step, to optimize the coefficients, it is necessary to specify the fitness functions. The defined problem is a two-objective problem, the first objective is to minimize the deviation of the real performance of the branches from the expected performance of them, and the second objective is to minimize the deviation of the coefficients from the coefficients determined by the experts. To solve this two-objective problem, a two-objective genetic algorithm is proposed.

In this article, two approaches are adopted to compare the proposed solution performance. In the first stage, the results of applying the proposed two-objective genetic algorithm have been compared with the results of applying four well-known multi-objective genetic algorithms on the problem of optimizing the coefficients. The results of this comparison show that the proposed algorithm has outperformed the other compared methods based on the S indicator and run time, and it is also ranked second after the NSGAII algorithm in terms of the HV indicator.

Finally, for evaluating the performance of the proposed algorithm with other well-known methods, the set of ZDT problems including ZDT1, ZDT2, ZDT3, ZDT4, and ZDT6 has also been taken into consideration. At this stage, the performance of the proposed algorithm has been compared with the four mentioned algorithms based on four key indicators, including GD, S, H, and run time. The results show, the proposed algorithm has outperformed significantly in terms of run time in all five ZDT problems. In terms of GD indicator, the performance of our proposed algorithm is located in the first or second rank among all considered algorithms. In addition, in terms of S and H indicators in many cases, the proposed algorithm outperformed the other well-known algorithms.

Keywords: Branch business space, coefficients of performance evaluation indicators, clustering, optimization, two-objective genetic algorithm.

۱- مقدمه

بانک‌ها مهم‌ترین مراکز ارائه‌دهنده خدمات مالی در هر کشوری به‌شمار می‌آیند که همواره با چالش‌های مختلفی دست به گریبان هستند. دو چالش مهم و اساسی که هر بنگاه اقتصادی درطول دوره فعالیت و حیات خود با آن دست به گریبان است، ارائه خدمات با کیفیت به مشتریان در عین سودآوری است. بانک‌ها برای تحقق دو هدف بسیار مهم خود که حفظ و نگهداری مشتریان و همچنین سودآوری است، به‌شدت نیازمند عملکرد مؤثر شعب، در راستای تحقق اهداف کوتاه‌مدت و میان‌مدت تعیین‌شده توسط واحدهای سیاست‌گذار هستند. برای تحقق این اهداف، لازم است سازوکاری توسط بانک‌ها اتخاذ شود که طی آن قادر باشند در هر زمان بسته به سیاست‌های کلان اقتصادی کشور و شرایط مالی بانک، عملکرد شعب را جهت‌دهی کنند؛ بنابراین در بخش راهبری، واحدهای برنامه‌ریز و ارزیابی‌کننده عملکرد به تدوین و ارزیابی شاخص‌های ضروری برای سودآوری و تأمین مالی می‌پردازند.

با توجه به گستردگی جغرافیایی شعب، کلیه شعب دارای پتانسیل‌های یکسان برای فعالیت در کلیه حوزه‌های هدف‌گذاری شده نخواهند بود، از طرفی اختلاف فرهنگی و همچنین رویکردهای مختلف مالی در میان قومیت‌ها و اقلیت‌های مذهبی غیر قابل چشم‌پوشی است؛ بنابراین لازم است با بررسی دقیق‌تر فضای کسب و کاری شعب، راه‌کارهایی شخصی‌سازی‌شده برای هر گروه کسب و کاری به‌منظور توزیع عادلانه پاداش‌های عملکردی ارائه شود. در این مقاله اهداف زیر دنبال می‌شود:

۱- ارائه راه‌کاری به‌منظور بخش‌بندی شعب بانک براساس فضای کسب و کاری آنها
۲- تعیین ضرایب اهمیت با درنظرگرفتن فضای کسب و کاری شعب در راستای توزیع عادلانه پاداش‌های عملکردی شعب
۳- ارائه روشی جهت بهبود سازوکار امتیازدهی به شعب از طریق بهینه‌سازی ضرایب اهمیت با استفاده از الگوریتم ژنتیک دوهدفه

۲- تعریف مسئله

شاخص‌های ارزیابی عملکرد در صنعت بانکداری توسط واحدهای برنامه‌ریزی و حسابداری مدیریت و براساس شاخص‌های مؤثر در سودآوری و همچنین در راستای

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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 ماهه 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 به‌دلیل کاهش ریسک نقدینگی حائز اهمیت است. درصد تحقق هر شاخص مقداری عددی صحیح است که کف آن به ٪۱۵۰- و سقف آن به ٪۱۵۰ محدود می‌شود برای هر شاخص به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. پارامتر تعیین‌کننده امتیاز، ضریب اهمیت هر یک از شاخص‌های عملکردی است که نقش تعیین کننده‌ای در محاسبات امتیازات شعب دارد. ازاین‌رو 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.

۳- پیشینهٔ 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 ازجمله روش‌هایی است که از مرتب‌سازی احاطه‌نشده استفاده می‌کند. هرچند این ایده برای نخستین‌بار در این مطالعه مطرح نشده، ولی در این مقاله پیچیدگی محاسباتی این روش از O(MN3) (در آن M تعداد هدف و N اندازه جمعیت است) به O(MN2) 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 مشکل‌بودن انتخاب یک پاسخ مناسب از میان مجموعه‌پاسخ‌های پرتو در یک مسئله عملی را مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان ادعا کرده‌اند که روش‌هایی همچون NSGAII و SPEAII در حل مسائل با دو هدف موفق هستند و درصورت 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 احاطه‌نشدن 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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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 ونگ 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 همسایه-های 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 کرده اند.

سالگویرو 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 بهینه-سازی 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.

ونگ 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 انطابقی ارتقا داده شده‌است. در این مطالعه یک استراتژی تولید بردار وزن انطباقیAWV 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 NSGAII 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 مرحلهٔ 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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

انتظار است که به‌وسیلهٔ 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 آن‌جایی 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
٤- نسبت تسهیلات به سپرده
٥- سهم کارمزد ارزی به کل کارمزدهای دریافتی
٦- 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 j ام از کروموزوم k ام از جمعیت است. هر کروموزوم یک جواب مسئله است؛ بنابراین هر کروموزوم به صورت $\overrightarrow{\mathbf{W_k}}$ 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 $\mathbf{f_1}(\overrightarrow{\mathbf{W_{c.k}}})$ 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:

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

$$\mathbf{f_1(W_c)} = \mathbf{sum}(|\mathbf{W_c} \cdot \{\mathbf{D_c} - \mathbf{1}\}^{\mathbf{T}}|)/\mathbf{nc_c} \quad (۱)$$

اگر nf بیان‌گر تعداد شاخص‌های ارزیابی عملکرد که برابر با ۱۵ است باشد و np بیان‌گر تعداد جمعیت و $\mathbf{nc_c}$ تعداد شعب متعلق به خوشه c ام باشد، $\mathbf{D_c}$ ماتریس میزان تحقق هدف براساس عملکرد هر یک از شعب متعلق به هر خوشه در پانزده شاخص ارزیابی عملکرد است که ابعاد آن $(\mathbf{nc_c} \times \mathbf{nf})$ خواهد بود. ماتریس تمام یک در حقیقت میزان تحقق هدف ایـده‌آل یعنی همان یک یا ۱۰۰٪ است که انتـظار 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 $\mathbf{D_c}$ است. در این فرمول ماتریس $\mathbf{W_c}$ بردار ضرایب اهمیت تمامی اعضای جمعیت در تمامی شاخص‌های ارزیابی عملکرد است. ابعاد این ماتریس $(\mathbf{np} \times \mathbf{nf})$ 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 پتانسیـل مشابه برای فعالیت در هر یک از حوزه‌های هدف‌گذاری‌شده 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 و 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 $f_2(\overrightarrow{W_{c.k}})$ نمایش داده شده‌است. 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 $\widetilde{W}$ را محاسبه می‌کند. این تابع انحراف ضرایب اهمیت اعضای جمعیت از ضرایب اهمیت تعیین شده براساس معیار خبرگی را محاسبـه می‌کنـد و مقدار زیر را کمینـه می‌کند:

$$\mathbf{f_2(W_c)} = \mathbf{sum}(|\mathbf{W_c} - \widetilde{\mathbf{W}}|)/\mathbf{nf} \quad (۲)$$

که در آن بردار $\widetilde{\mathbf{W}}$ ، 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 امیتاز 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 درنظرداشتن 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 مسئـله هدف بهینـه‌سازی ضرایب اهمیت شاخص‌های ارزیابی عملکرد به‌گونه‌ای است که دو تابع هدف متناقض و متضاد هم‌زمان برآورده شوند و این به‌طوردقیق 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 مجموعه‌جواب های 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 $\overrightarrow{\mathbf{W_{c.k}}}$ به‌ازای هر یک از خوشه‌های شعب با فضای کسب و

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

کاری متفاوت است، لذا تمامی مراحلی 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 $\overrightarrow{\mathbf{W_{c.k}}}$ 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 $\mathbf{f_1(W_c)}$ و $\mathbf{f_2(W_c)}$ برای کلیه اعضای جمعیت یا همان ماتریس $\mathbf{W_c}$ با ابعاد $\mathbf{(np \times nf)}$ 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 $\mathbf{f_1(W_c)}$ و $\mathbf{f_2(W_c)}$ استفاده شود. به این ترتیب برای هر یک از توابع هدف مقدار بیشنیه 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.

$$\mathbf{Range(f_i) = [min(f_i) - \Delta_i . max(f_i) + \Delta_i]} \quad (۳)$$

و مقدار Δ_i از معادله ۴ بدست می‌آید:

$$\Delta_i = \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{f_i}} \quad (۴)$$

که در این رابطه $\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{f_i}}$ انحراف معیار جمعیت برای مقادیر تابع هدف $\mathbf{f_i}$ 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 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 $\mathbf{nBin_i}$ یا همان تعداد نوارها در هر بعد که توسط کاربر قابل تعیین است مشخص می‌شود.

$$\mathrm{Bin}(f_i) = \mathrm{Range}(f_i)/\mathrm{nBin}_i \quad (۵)$$

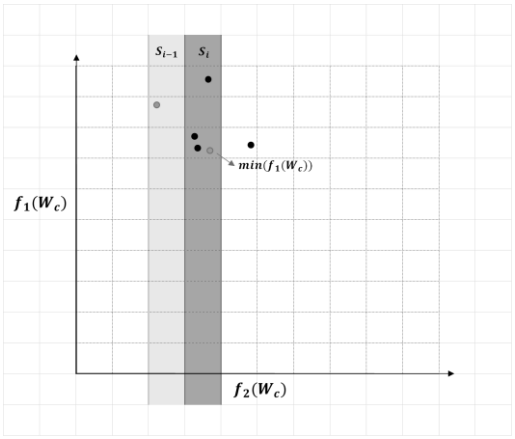
۵- استخراج پاسخ کمینه (بیشینه) هر تابع هدف برای هر نوار: در این مرحله برای هر نوار در هر بعد به این ترتیب عمل می‌شود که ابتدا بررسی می‌شود که چه تعداد از افراد جمعیت در نوار مورد بررسی واقع شده‌اند، یعنی تمام اعضایی از جمعیت که مقدار $\mathbf{f_i}$ آنها در دامنه نوار **s** ام از بعد **i** ام قرار دارد مشخص و سپس برای همین افراد مقادیر تابع هدف $\mathbf{f_j}$ که $\mathbf{i \neq j}$ 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 $\mathbf{f_j}$ باشد، فردی از میان افراد منتخب که دارای کمترین مقدار $\mathbf{f_j}$ 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 $\mathbf{s-1}$ ام احاطه نشده باشد. در شکل‌های ۳-۱ و ۳-۲ به‌صورت نمادین مراحل انتخاب جواب‌هایی که در هر بعد (در راستای هر تابع هدف) به مجموعه‌جواب **S** اضافه می‌شوند با نمایش داده شده‌اند.

۶- حذف مجموعه‌جواب های 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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

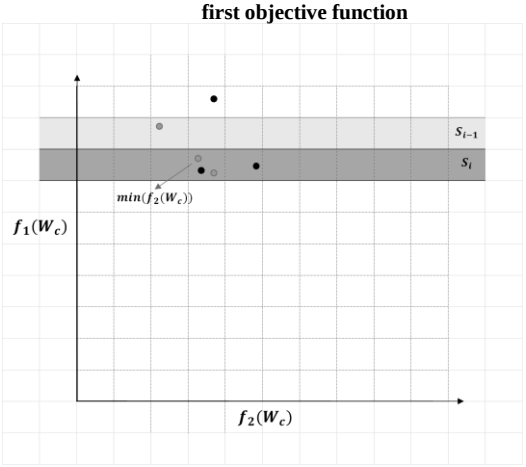
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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



(شکل۳-۱) فرایند انتخاب پاسخ بهینه در راستای تابع هدف نخست

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



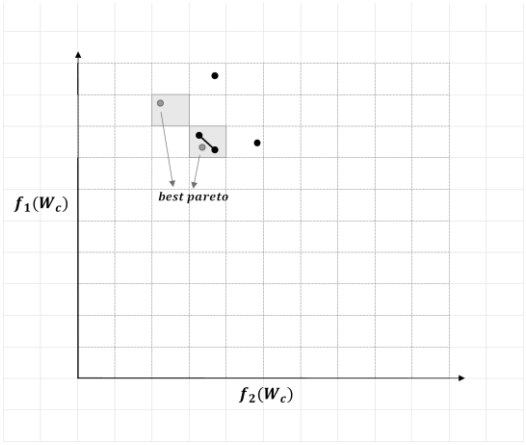
(شکل ۳-۲) فرایند انتخاب پاسخ بهینه در راستای تابع هدف دوم

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

۷- ساخت مجموعه‌جواب پرتوی بهینه: در این مرحله از اجرای الگوریتم به‌ازای هر یک از جواب‌های موجود در مجموعه‌جواب **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 $\mathbf{Q_1}$ 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 مجموعه‌جواب اولیه وجود داشت تعیین می‌شوند و در مجموعه $\mathbf{Q_2}$ قرار داده می‌شوند، سپس براساس فرایند زیر عمل می‌شود:

الف- اگر مجموعه $\mathbf{Q_1}$ تنها شامل یک عضو باشد آن عضو بهینه است و به مجموعه‌جواب بهینه **P** اضافه می‌شود.

ب- اگر هر دو مجموعه $\mathbf{Q_1}$ و مجموعه $\mathbf{Q_2}$ دارای دو عضو باشند هر دو عضو بهینه بوده و به مجموعه‌جواب 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 $\mathbf{Q_1}$ دارای دو عضو و مجموعه $\mathbf{Q_2}$ دارای بیش از دو عضو باشد، خط فرضی بین دو عضو مجموعه $\mathbf{Q_1}$ در نظر گرفته می‌شود. در مسائل کمینه‌سازی از میان جواب‌هایی از مجموعه $\mathbf{Q_2}$ که در زیر این خط فرضی قرار می‌گیرند جوابی که بیشترین فاصله متعامد را از این خط فرضی دارد به مجموعه‌جواب بهینه **P** اضافه می‌شود و در غیر این صورت دو جواب موجود در مجموعه $\mathbf{Q_1}$ به مجموعه‌جواب 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 مجموعه‌جواب های 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:

$$\boldsymbol{\alpha = \mathrm{uniform_random}(-\sigma.1 + \sigma.nf)} \quad (۶)$$

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

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

در این رابطه مقدار $\boldsymbol{\sigma}$ یک مقدار دلخواه در بازه $(\mathbf{0},\mathbf{1})$ خواهد بود. مقادیر **vmin** و **vmax** به

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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 به‌ترتیب 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 مجموعه‌جواب 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 از چهار روش موجود برای بهینه‌سازی چندهدفه از جمله روش NSGAII 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 به‌صورت 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.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

- 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، PESAII و MOEA/D مقایسه شده‌اند. به طور کلی در این مقاله از معیارهای ارزیابی رایج در حوزه مسائل بهینه‌سازی چند هدفه شامل GD، S، H وHV 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 GD، 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 مجموعه‌جواب های بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با مجموعه‌جواب های حاصل از اعمال چهار روش NSGAII، SPEAII، PESAII و MOEA/D مقایسه شده‌اند. در شکل(۱-۴) جبهه پرتوی حاصل از الگوریتم پیشنهادی و چهار الگوریتم یادشده به‌تفکیک 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 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 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 ۱۲۰ 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.

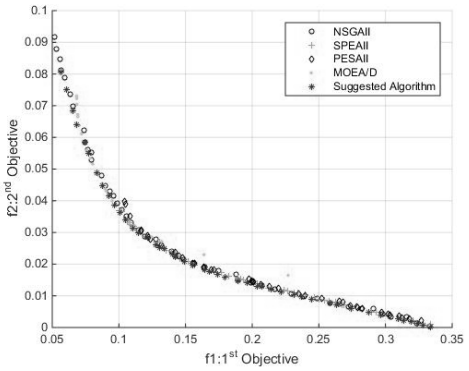
در جداول(۴-۱) تا (۴-۳) معیارهای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با چهار الگوریتم دیگر ارائه شده‌است. نتایج ارائه‌شده در این جداول مربوط به میانگین و انحراف معیار نتایج حاصل از سی‌بار اجرای الگوریتم پیشنهادی و سایر الگوریتم‌ها بر روی کلیه شعب و یازده خوشه مورد بررسی است. گفتنی است با توجه به 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.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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 مجموعه‌جواب حاصل را محاسبه می‌کند[4]؛ بنابراین هر چه مقدار معیار HV بیشتر باشد، به این معنی است که مجموعه‌جواب مورد نظر حجم بیشتری از فضای هدف را پوشش‌دهی می‌کند.

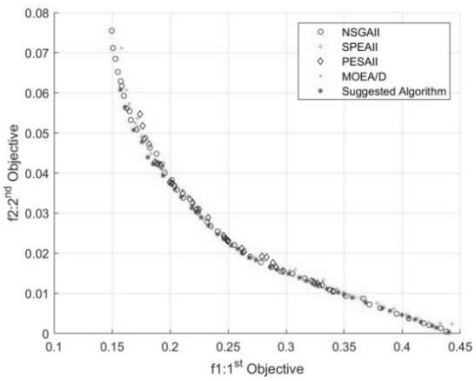


الف) خوشه اول

a.1st cluster

ب) خوشه دوم

b.2ed cluster

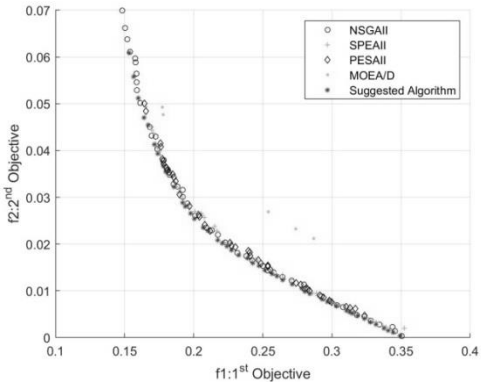


ج) خوشه سوم

c.3th cluster

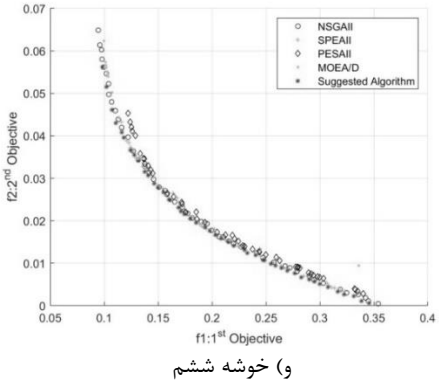
د) خوشه چهارم

d.4th cluster



هـ) خوشه پنجم

e.5th cluster

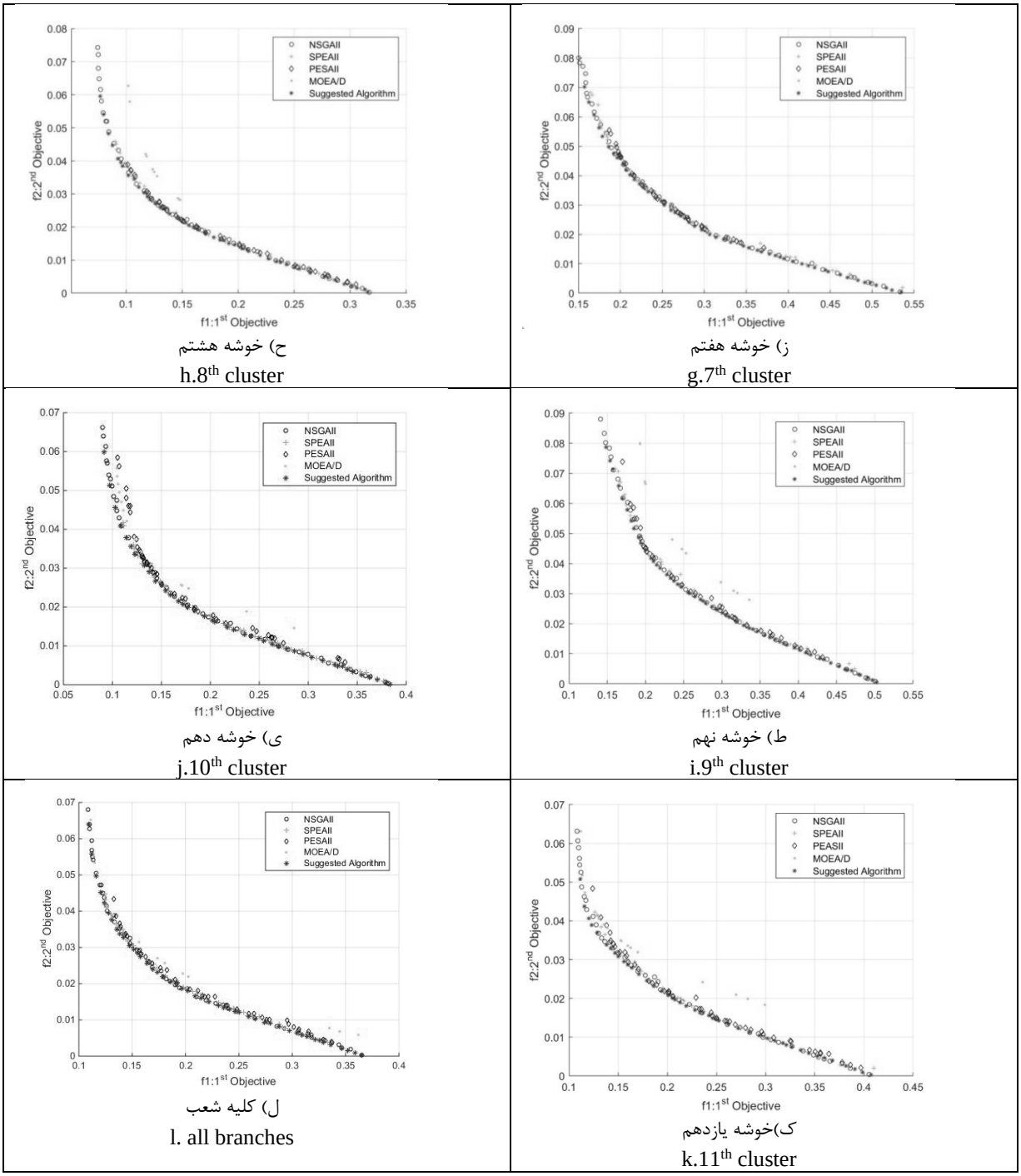


و) خوشه ششم

f.6th cluster

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]



ز) خوشه هفتم
g.7th cluster

ح) خوشه هشتم
h.8th cluster

ط) خوشه نهم
i.9th cluster

ی) خوشه دهم
j.10th cluster

ک)خوشه یازدهم
k.11th cluster

ل) کلیه شعب
l. all branches

(شکل۴-۱) مقایسه جبهه پرتو حاصل از الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های NSGAII، SPEAII، PESAII 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 هـ) 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 NSGAII, SPEAII, PESAII and MOEA/D on the problem of optimizing the weights of Branch's KPIs for each cluster and all brancges

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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

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

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

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

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

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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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

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

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

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

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

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

۴-۳- مسائل بهینه‌سازی 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 گرفته اند. 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 است؛ 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 NSGAII، SPEAII، PESAII و MOEA/D با مجموعه‌جواب بهینه پرتوی هر یک از مسائل ZDT با هم مقایسه شده‌اند. نتایج ارائه‌شده 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 و MOEA/D 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 چبیشف برای تبدیل مسئله چندهدفه به مسائل

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

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

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

نتایج ارائه شده در جدول (۴-۴) امکان مقایسه میانگین و انحراف معیار نتایج روش پیشنهادی و چهار روش NSGAII، SPEAII، PESAII و MOEA/D در سی اجرا برای هر یک از مسائل خانواده مسائل ZDT را فراهم می‌آورد. معیار GD فاصله مجموعه‌جواب از مجموعه‌جواب بهینه پرتو را اندازه‌گیری می‌کند [4]. به این ترتیب که هر چه مقدار این معیار کمتر باشد مجموعه‌جواب به‌دست‌آمده به مجموعه‌جواب 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 و ZDT6) از پنج مسئله الگوریتم پیشنهادی دارای مقادیر کوچک‌تری نسبت به چهار روش دیگر است و درنتیجه 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. به‌طورکلی همان‌طور که در جدول (۴-۴) مشاهده می‌شود از نظر معیار GD الگوریتم پیشنهادی در جایگاه نخست و الگوریتم NSGAII 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 درحالی است که روش NSGAII 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 مجموعه‌جواب 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 NSGAII هم در دو مسئله ZDT1 و ZDT3 نسبت به سایر روش‌ها و روش پیشنهادی معیار H بهتری ارائه کرده است. به طور کلی در رابطه با معیار H نمی‌توان در رابطه با برتری یک روش نسبت به سایر روش‌ها اظهارنظر قطعی نمود.

در جدول (۴-۷) میانگین و انحراف معیار زمان اجرای حاصل از سی‌بار اجرای هر یک از الگوریتم‌های مورد بررسی با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، زمان اجرای الگوریتم پیشنهای 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 به‌منظور 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. به‌منظور ایجاد قابلیت مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی با چهار روش شناخته‌شده و کارآمد در حوزه بهینه‌سازی چندهدفه به نام‌های NSGAII، SPEAII، PESAII و MOEA/D مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان داد که در تمامی خوشه‌ها و همچنین کلیه شعب، مجموعه‌جواب حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی نسبت به مجموعه‌جواب های حاصل از سایر روش‌های مورد مقایسه به‌لحاظ شاخص بهینگی دارای عملکرد

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

مناسب است. براساس نتایج ارائه‌شده 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 به نسبت به سایر روش‌ها است؛ علاوه‌بر مسئله مورد بررسی، عملکرد الگوریتم پیشنهادی و چهار الگوریتم اشاره شده در حل مسائل خانواده مسائل ZDT با هم مقایسه شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده الگوریتم پیشنهادی در سه مسئله از پنج مسئله خانواده مسائل ZDT دارای معیار GD بهتر بوده و در کل در میان پنج روش الگوریتم پیشمهادی 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. درخصوص معیار ارزیابی H براساس نتایج ارائه‌شده در دو مسئله از پنج مسئله الگوریتم پیشنهادی بهترین نتایج را ارائه کرده است.

آنچه در میان نتایج ارائه‌شده 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 به‌دلیل استفاده از روش نواربندی 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)," EEE Access, vol. 7, pp. 8111 - 8126, 2019.

[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 Optimizat ion," 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 هوش‌مصنوعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران هستند.

نشانه رایانامه ایشان عبارت است از:

elhamhamedi84@gmail.com

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

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از :

mirzarezaee@srbiau.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.145] [Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-23]