



## زمانبندی دو هدفه جریان کارگاهی مختلط با تقریب پارتو در یک منطقه مشخص

سید مصطفی موسوی

گروه مهندسی صنایع، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

Email: mousavi@iauns.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۸ \* تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۸

### چکیده

این تحقیق، مساله زمانبندی تولید در محیط جریان کارگاهی مختلط با زمان های آماده سازی وابسته به توالی و با هدف مینیمم کردن ماکزیمم زمان تکمیل کارها و جمع زمان های تاخیر را مورد بررسی قرار می دهد. در گذشته مسائل دو هدفه با یافتن تقریب پارتو از کل فضای مساله (بدون هیچ محدودیتی) حل شده است. محدودیت در این تحقیق یافتن تقریب پارتو در یک منطقه مشخص شده است. به منظور حل مساله، الگوریتم ژنتیک چند هدفه مبتنی بر رتبه بندی پارتو مورد استفاده قرار گرفته است. در ساختار الگوریتم، دو استراتژی انتخاب جواب برای آرشیو جهت تولید پارتو در یک منطقه مشخص پیشنهاد شده است. پس از تولید مسائل نمونه، الگوریتم ژنتیک با سه استراتژی (دو استراتژی پیشنهادی و استراتژی عمومی در ادبیات) اجرا شده است. استراتژی مناسب براساس جواب های موثر در آرشیو تعیین شده است. نتایج نشان دهنده این واقعیت است که استراتژی های پیشنهاد شده عملکرد بهتری نسبت به استراتژی در ادبیات نشان داده اند.

**کلمات کلیدی:** بهینه سازی چند هدفه، تقریب پارتو، جریان کارگاهی مختلط، جمع زمان های تاخیر، ماکزیمم زمان تکمیل.

## ۱- مقدمه

زمانبندی تولید را می‌توان به صورت تخصیص منابع تولید موجود در طول زمان به یک سری از کارهای موجود تعریف کرد (Baker, 1974). یکی از مهمترین مسائل برنامه‌ریزی و زمانبندی تولید، تعیین توالی انجام کارها در محیط جریان کارگاهی مختلط می‌باشد. تسهیلات تولیدی وقتی در چندین مرحله متوالی قرار می‌گیرند و هر مرحله شامل چندین ماشین به صورت موازی باشد به این نوع محیطها، جریان کارگاهی مختلط می‌گویند که در کلاس محیطهای جریان کارگاهی قرار می‌گیرند. این نوع محیطها نسبتاً عمومی و به طور متنوع در ساخت اجسام نیمه رسانا، وسایل الکترونیک و تولیدات پتروشیمی استفاده می‌شود. در گذشته در اغلب تحقیقات برای ساده‌سازی مساله، زمانهای آماده‌سازی را حذف و یا در زمان انجام کارها لحاظ می‌کردند. در حالیکه، در مسائل دنیای واقعی، بخصوص در مواردی که زمان آماده‌سازی وابسته به توالی می‌باشد، این ادغام‌سازی معقول نمی‌باشد. به این علت در این تحقیق زمانهای آماده‌سازی به صورت مجزا در نظر گرفته شده‌اند. به طور مثال در تراشکاری اتوماتیک، زمان آماده‌سازی بستگی به تفاوت در تعداد و نوع ابزاری که بر روی برجک متحرک نصب شده‌اند و قطعات کاری که در مراحل بعدی مورد نیازند، دارد.

اهداف زمانبندی در صنایع متنوع می‌باشند. معیار ماکزیمم زمان تکمیل کارها ( $C_{max}$ ) در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است و به عنوان یکی از اهداف در این تحقیق نیز می‌باشد. این هدف بر مبنای مدیر تولید یک شرکت بنا شده که قصد دارد استفاده از ماشین آلات را به حداقل برساند. در واقع این معیار جهت بررسی اثربخشی داخلی شرکت طراحی شده است. از نقطه نظر اثربخشی اقتصادی، مواعدهای تحویل باید به عنوان هدفی از فرآیند کارها باشند. امروزه بسیاری از شرکتها به برآورده کردن تقاضای مشتریان بر حسب موعد تحویل توجه کرده‌اند. بنابراین تحقیقات در مسائل زمانبندی که معیارهای مرتبط با موعد تحویل را مد نظر قرار می‌دهند کاربردی‌تر از قبل خواهند بود. با توجه به اهمیت معیارهای مرتبط با موعد تحویل، کل زمانهای تاخیر کارها ( $\bar{T}$ ) نیز به عنوان یکی دیگر از اهداف مورد توجه قرار داده شده است. این هدف بر مبنای مدیر تجاری شرکت بنا شده است که قصد دارد تقاضای مشتریان با کمترین تاخیر به دست آنها برسد. در حقیقت این معیار جهت بررسی اثربخشی بیرونی شرکت طراحی شده است. بنابراین یک مساله دو هدفه (حالت خاص مساله چند هدفه) شکل گرفته است. الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه، معمولاً یک مجموعه جواب برای این دسته از مسائل پیدا و تصمیم‌گیرنده نیز یک جواب مناسب را از بین این مجموعه جوابهای متناهی انتخاب می‌کند. مسائل بهینه‌سازی چند هدفه به طور کلی با رابطه ۱ فرموله می‌شوند:

$$\text{Minimize or Maximize } F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\text{Subject to: } x \in S$$

که  $x$  یک جواب،  $S$  مجموعه جوابهای قابل قبول،  $k$  تعداد توابع هدف، و  $f_i(x)$  به ازای  $i = 1, 2, \dots, k$  نیز مقدار تابع هدف  $i$  ام را نشان می‌دهد.  $F(x)$  تصویر جواب  $x$  در فضای  $k$  تابع هدف می‌باشد. به مجموعه جوابهای بهینه مسائل چند هدفه، مجموعه پارتو بهینه، جوابهای مرغوب، جوابهای قابل قبول، جوابهای موثر، و جوابهای غیرغالب هم گفته می‌شود و خصوصیت آنها این می‌باشد که دیگر جوابها را می‌پوشانند ولی خودشان توسط جوابهای دیگر پوشش داده نمی‌شوند. مساله جریان کارگاهی مختلط متعلق به مسائل بهینه‌سازی ترکیبیاتی است که در دسته مسائل سخت با زمان حل چند جمله‌ای غیر قطعی قرار می‌گیرد (Linn & Zhang, 1999). برای حل مسائل مشکل مانند زمانبندی در محیط جریان کارگاهی مختلط، الگوریتم‌های مختلف زیادی گسترش داده شده‌اند که به دنبال یافتن مجموعه پارتو بهینه و یا تقریب این مجموعه در فضای جواب ممکن مساله بوده‌اند. تقریباً در اکثر تحقیقات، در روشهای حل، استراتژی انتخاب جواب برای آرشو جهت تشکیل مجموعه پارتو به این صورت بوده است که، جوابی می‌تواند به آرشو اضافه شود که توسط جوابهای دیگر در آرشو پوشش داده

نشود و اینکه این جواب در کجای فضای ممکن مساله قرار می‌گیرد مهم نبوده است. در ادامه برخی از تحقیقات که به دنبال یافتن تقریب مجموعه پارتو بدون هیچ محدودیتی در فضای مساله می‌باشند اشاره می‌شود.

پهناامیان و همکاران (۲۰۰۹) برای حل مساله زمانبندی دو هدفه جریان کارگاهی مختلط با فرض وجود زمان‌های آماده‌سازی یک رویه سه فازی را پیشنهاد کرده‌اند. فاز ۱ شامل تولید جواب‌های مسلط و فاز ۲ شامل بهبود جواب‌های مسلط و دستیابی به پارتو بوده است و فاز ۳ جهت از بین بردن خطای بین جواب‌های مسلط و پارتو استفاده شده است (Behnamian, Fatemi, Ghomi, & Zandieh, 2009). رشیدی و همکاران (۲۰۱۰) برای حل مساله جریان کارگاهی مختلط دو هدفه با ماشین‌های موازی غیرمرتبط و با فرض وجود زمان‌های آماده‌سازی و ظرفیت بافر از الگوریتم‌های ژنتیک به صورت موازی و غیرمستقل در یک ساختار استفاده کرده‌اند. در حقیقت این کار با تقسیم کل جمعیت به چندین جمعیت انجام شده است. در هر جمعیت به اهداف وزن‌های مختلفی داده شده است تا جستجو برای جواب‌های بهینه در آن جمعیت براساس وزن‌های تخصیص داده شده انجام شود. در نهایت با ادغام مجموعه جواب‌های مسلط بدست آمده از زیر جمعیت‌ها مجموعه نهایی تحت عنوان تقریب پارتو حاصل شده است (Rashidi, Jahandar, & Zandieh, 2010). موسوی و همکاران (۲۰۱۱) یک هیورستیک موثر برای حل مساله دو هدفه جریان کارگاهی مختلط با وجود زمان‌های آماده‌سازی ارائه داده‌اند. هدف در این تحقیق تعیین یک مجموعه موثر از جواب‌هایی بوده است که تشکیل پارتو را دهند (Mousavi, Zandieh, & Amiri, 2011). خلیلی ۲۰۱۲ روش حلی بر مبنای الگوریتم الکترومغناطیس جهت یافتن مجموعه جواب‌های مسلط (تقریب پارتو) برای مساله جریان کارگاهی مختلط با فرض وجود زمان انتقال ارائه داده است (Khalili, 2012). ترون و نگ (۲۰۱۳) به منظور حل مساله زمانبندی دو هدفه جریان کارگاهی منعطف با فرض محدودیت بافر میانی یک متاهیورستیک مبتنی بر الگوریتم جریان آب پیشنهاد داده‌اند. هدف آنها یافتن مجموعه جواب‌های مسلط (تقریب پارتو بهینه) برای مساله تحت بررسی در فضای جواب ممکن آن بوده است (Tran & Ng, 2013). ینگ و همکاران (۲۰۱۴) مساله زمانبندی جریان کارگاهی مختلط بازگشتی را با هدف مینیمم کردن ماکزیمم زمان تکمیل کارها و جمع کل تاخیرها مورد بررسی قرار داده‌اند و به منظور حل مساله یک الگوریتم حریم‌سازی تکرار شونده را پیشنهاد داده‌اند (Ying, Lin, & Wan, 2014). موسوی و همکاران (۲۰۱۶) از الگوریتم ژنتیک چند هدفه مبتنی بر رتبه‌بندی پارتو برای حل مساله زمانبندی دو هدفه جریان کارگاهی مختلط بازگشتی با فرض وجود زمان‌های آماده‌سازی و اثر یادگیری استفاده کرده بودند. هدف آنها یافتن یک مجموعه جوابی بوده است که تقریب بهتری از مجموعه جواب‌های بهینه باشد (Mousavi, Mahdavi, Rezaeian & Zandieh, 2016). همچنین الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای حل مساله جریان کارگاهی مختلط دو مرحله‌ای با هدف مینیمم کردن ماکزیمم زمان تکمیل و جمع کل زودکرد و دیرکرد کارها توسط حسینی (۲۰۱۷) پیشنهاد شده است (Hosseini, 2017).

از مرور تحقیقات گذشته مشاهده می‌شود که در روش‌های حل، به جواب‌هایی اجازه اضافه شدن به آرشیو داده شده است که توسط جواب‌های دیگر در آرشیو پوشش داده نشوند. لذا (تقریب) پارتو بهینه در هر کجا از فضای ممکن مساله می‌توانست تشکیل شود. در این تحقیق دو استراتژی بسیار متفاوت از آنچه تاکنون به کار رفته برای اضافه کردن جواب به آرشیو پارتو پیشنهاد شده است تا تقریب مجموعه پارتو در فضای خاصی از مساله شکل گیرد.

## ۲- روش شناسی

از آنجا که الگوریتم‌های ژنتیک جزء الگوریتم‌های جمعیت محور به حساب می‌آیند، تعداد پاسخ‌های بهینه پارتو که ممکن است در طی فرآیند حل یافت شوند، الگوریتم‌های ژنتیک چند هدفه را به ابزاری‌های کارا در حل مسائل چند هدفه تبدیل کرده است. از بین الگوریتم‌های ژنتیک، یکی از شناخته شده‌ترین و پرکاربردترین آنها، الگوریتم ژنتیک غیر غالب با نام NSGA-II است که توسط دب در سال ۲۰۰۲ معرفی گردیده است. الگوریتم ژنتیک غیر غالب یک الگوریتم تکاملی چند هدفه نخبه‌گرا می‌باشد که بر مبنای مفهوم "نامغلوب" طراحی شده است و به دلیل پیچیدگی محاسباتی کمتر و استفاده از عملگر ازدحام به دیگر روش‌های الگوریتم ژنتیک برتری دارد. لذا الگوریتم پیشنهادی بر اساس این الگوریتم طراحی شده است که به عنوان یک الگوریتم سریع و موثر شناخته شده است. قدم‌های الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر است:

• قدم ۱: رمزگذاری

کدینگ اعداد صحیح جهت نمایش یک جواب استفاده شده است. ژن‌ها در هر کروموزوم محتوی یک عدد صحیح از ۱ تا  $n$  (تعداد کارها) می‌باشند که عدد صحیح داخل ژن بیانگر شماره کار می‌باشد. به عنوان مثال [۱-۳-۲-۴] یک کروموزوم تصادفی برای مرحله اول مساله جریان کارگاهی مختلط با ۴ کار است. به منظور تعیین ترتیب کارها از مرحله دوم به بعد از قانون توزیع "اولین ورودی اولین خروجی" استفاده می‌شود.

• قدم ۲: مقدار دهی اولیه

(۱-۲) ورود پارامترهای مساله شامل زمان فرآیند  $(P_j^k)$ ، موعد تحویل  $(d_j)$ ، زمان آماده‌سازی  $(s_{ij}^k)$   
 (۲-۲) ورود پارامترهای الگوریتم شامل تعداد جمعیت اولیه  $(N_{pop})$ ، درصد عملگر تقاطع و جهش  $(P_{mc})$ ، تعداد نسل  $(N_g)$   
 (۳-۲) تولید یک جمعیت اولیه  $(P_0)$  که به صورت تصادفی تولید می‌شوند.

• قدم ۳: رتبه‌بندی اولیه و ثانویه

ارزش اهداف همه جواب‌های در جمعیت جاری  $(P_i)$  ارزیابی و سپس مرتب‌سازی اولیه بر اساس قانون گلدبرگ انجام می‌شود. آنگاه  $F_1$  مجموعه جواب‌های مسلط در  $P_i$  است که تشکیل جبهه اول را می‌دهند،  $F_2$  مجموعه جواب‌های مسلط در  $P_i \setminus F_1$  است که تشکیل جبهه دوم را می‌دهند، و به همین صورت،  $F_i$  مجموعه جواب‌های مسلط که تشکیل جبهه آخر را می‌دهند. در شکل ۱ نحوه رتبه‌بندی اولیه جواب‌ها با قانون گلدبرگ نشان داده شده است. بعد از مرتب‌سازی اولیه جواب‌ها، مرتب‌سازی ثانویه جواب‌ها با استفاده از معیاری به نام فاصله ازدحامی انجام می‌شود. فاصله ازدحامی فقط بین اعضای یک صف (جبهه) تعریف می‌شود. فاصله ازدحامی برای جواب‌هایی در مناطق خلوت‌تر بیشتر و در مناطق پر جمعیت کمتر می‌باشد. شکل ۲ نحوه محاسبه فاصله ازدحامی  $(cd_i)$  حل  $i$  را نشان می‌دهد و همچنین رابطه‌های ۲ و ۳ فرمول‌های محاسبه این معیار را نشان می‌دهند.

$$cd_i = \sum_{\substack{j \in \{F_{f_i}\} \\ i \neq j}} D_{ij} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{r=1}^2 \left( \frac{Z_r(i) - Z_r(j)}{\max\{Z_r(i')\} - \min\{Z_r(i')\}} \right)^2} \quad i' \in [F_{f_i}] \quad (\text{رابطه ۳})$$

برای محاسبه  $cd_i$  هر جواب، ابتدا فاصله اقلیدوسی نرمالایز شده بر اساس فاصله ازدحامی بین جواب  $i$  و  $j$  را که  $D_{ij}$  نامیده شده است محاسبه می‌شود که  $f_i$  به دسته‌ای که کروموزوم  $i$  در آن قرار دارد و  $[F_{f_i}]$  به کروموزوم‌هایی که در این دسته قرار دارد اشاره دارند.  $Z_r(i)$  و  $Z_r(j)$  اشاره به مقادیر اهداف  $r$  ام کروموزوم‌های  $i$  و  $j$  دارد. کروموزوم‌های با ارزش بالاتر فاصله ازدحامی، در رتبه‌های بالاتری در رتبه‌بندی ثانویه قرار می‌گیرند. بنابراین هر جواب در جمعیت دارای دو رتبه می‌باشد که یکی رتبه‌بندی اولیه و دیگری رتبه‌بندی ثانویه است.

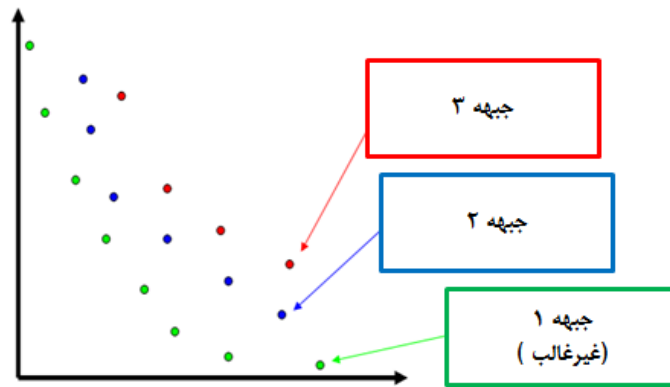
• قدم ۴: انتخاب

جهت انتخاب جواب‌ها جهت اعمال عملگرها از تورنامنت دودویی استفاده می‌شود. ابتدا دو جواب به صورت تصادفی انتخاب و بر اساس رتبه اولیه آنها هر کدام بهتر باشد انتخاب و اگر هر دو رتبه اولیه یکسانی داشته باشند هر کدام که رتبه ثانویه بهتری داشته باشد انتخاب می‌شود.

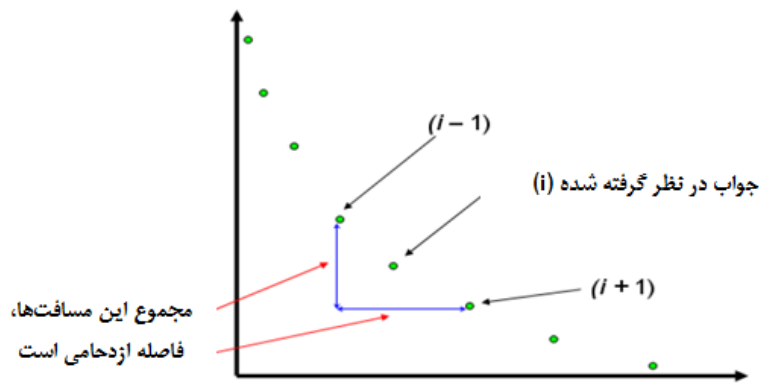
• قدم ۵: عملگر تقاطع و جهش

به تعداد  $2 / (N_{pop} \times P_c)$  جفت جواب از جمعیت جاری انتخاب شده و عملگر تقاطع ترتیبی روی آنها اجرا می‌شود و سپس عملگر جهش معاوضه‌ای با احتمال  $0/1$  روی کروموزوم حاصله از عملگر تقاطع انجام می‌شود.

- قدم ۶: جابه‌جایی  
مجموعه جواب‌های بدست آمده از قدم ۵ و جمعیت جاری ادغام شده و پس از مرتب‌سازی اولیه و ثانویه (مشابه آنچه در قدم ۳ توضیح داده شد) جمعیت برای نسل جدید ( $P_{i+1}$ ) به اندازه  $N_{pop}$  انتخاب می‌شوند.
- قدم ۷: به روز کردن آرشیو پارتو  
با توجه به استراتژی در نظر گرفته شده، یک یا چندین جواب به آرشیو پارتو انتقال داده می‌شوند. آرشیو فقط جواب‌هایی را قبول و پارتو را به روز رسانی می‌کند که جواب‌های ورودی توسط سایر جواب‌های در آرشیو پوشش داده نشوند. در بخش بعدی مقاله استراتژی‌های پیشنهادی انتخاب جواب برای آرشیو معرفی می‌شوند.
- قدم ۸: شرط توقف  
الگوریتم با رسیدن به شرط توقف به اتمام می‌رسد در غیر اینصورت به قدم ۳ می‌رویم. شرط توقف در اینجا تعداد نسل تولیدی در نظر گرفته شده است.



شکل شماره (۱): رتبه‌بندی اولیه جواب‌ها بر اساس قانون گلدبرگ



شکل شماره (۲): نحوه محاسبه فاصله ازدحامی

در ادامه به بررسی قدم ۷ الگوریتم و معرفی دو پیشنهاد جدید جهت استراتژی انتخاب جواب برای آرشیو پرداخته می‌شود. مساله مهم مطرح قبل از فرآیند حل، طراحی استراتژی انتخاب جواب برای آرشیو است. در طراحی استراتژی انتخاب جواب برای آرشیو مساله مهم این است که بدانیم آیا تصمیم‌گیرنده برای منطقه تشکیل پارتو نظری دارد و یا نظر خاصی ندارد. عموماً در اکثر تحقیقات به علت عدم دسترسی به تصمیم‌گیرنده اینگونه فرض می‌شود که تصمیم‌گیرنده برای منطقه تشکیل پارتو نظری ندارد و پارتو بدون هیچ محدودیتی در هر کجای فضای جواب می‌تواند ایجاد شود. بنابراین در این نوع استراتژی، به تصمیم‌گیرنده

اجازه هیچ نوع دخالتی در فرآیند حل داده نشده است و فقط در پایان فرآیند حل پس از تشکیل پارتو، مجموعه جواب در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد تا یک جواب از مجموعه جواب معرفی شده را انتخاب کند. در این نوع استراتژی معمولاً جواب‌ها بر اساس قانون گلدبرگ مرتب‌سازی اولیه می‌شوند و جواب‌های در رتبه اول به آرشیو منتقل و سپس آرشیو بروز رسانی می‌شود تا فقط مجموعه پارتو خالص در آرشیو قرار گیرد.

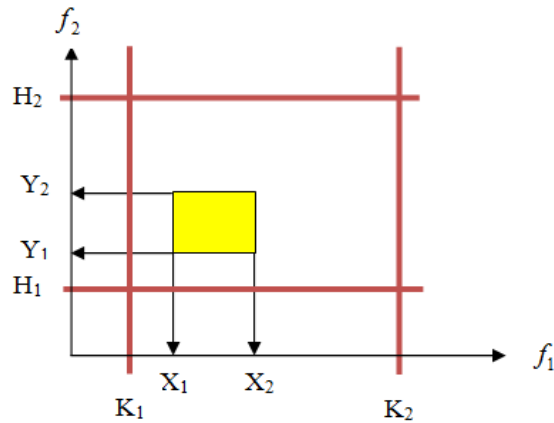
در این مقاله هدف این بوده است که نظر تصمیم‌گیرنده برای منطقه تشکیل پارتو نقش داشته باشد و بخواهد پارتو در منطقه خاصی از فضای جواب تشکیل شود. برای این منظور تصمیم‌گیرنده قبل از فرآیند حل، یک حدود اولیه از فضای مساله را مشخص می‌کند تا پارتو در آنجا شکل گیرد. بنابراین با توجه به این فرض، برای انتخاب جواب برای آرشیو سه استراتژی پیشنهاد می‌شود که در اولی توجهی به نظر تصمیم‌گیرنده نمی‌شود (حالت عرف در اکثر تحقیقات) و در دومی و سومی با توجه به نظر تصمیم‌گیرنده جواب برای آرشیو انتخاب شود (دو حالت پیشنهادی). بنابراین سه استراتژی لحاظ شده در این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

- استراتژی ۱: مرتب‌سازی اولیه جواب‌ها بر اساس قانون گلدبرگ و انتقال جواب‌های در رتبه اول به آرشیو و بروز رسانی آن (منظور انتقال جواب‌های در جبهه اول از شکل ۱ به آرشیو)
- استراتژی ۲: دریافت یک حدود اولیه از فضای مساله توسط تصمیم‌گیرنده و انتخاب جواب برای آرشیو بر اساس معیار پراکندگی فاصله
- استراتژی ۳: دریافت یک حدود اولیه از فضای مساله توسط تصمیم‌گیرنده و انتخاب جواب برای آرشیو بر اساس معیار پراکندگی نقاط

مراحل اجرای استراتژی‌های دوم و سوم به صورت مختصر به این صورت است: (الف) تخمینی از حدود فضای جواب مساله و دریافت یک حدود اولیه از فضای مساله توسط تصمیم‌گیرنده که قرار است پارتو حول و در داخل آن ایجاد شود. (ب) قرار دادن سه جواب فرضی در آرشیو پارتو (این نقاط فرضی با توجه به حدود اولیه دریافت شده توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شوند) و تخمین نقطه‌ای برای معیار پراکندگی (فاصله یا نقاط) از نقاط فرضی و تبدیل تخمین نقطه‌ای به تخمین فاصله‌ای برای معیار پراکندگی (فاصله یا نقاط). (ج) پذیرش یا رد جواب‌ها برای آرشیو با توجه به تخمین فاصله‌ای محاسبه شده برای معیار پراکندگی (فاصله یا نقاط). برای روشن شدن عملکرد استراتژی‌های دوم و سوم، مراحل استراتژی دوم و سوم به تفصیل در زیر بیان می‌شود.

الف) تخمین فضای مساله و دریافت یک حدود اولیه از فضای مساله توسط تصمیم‌گیرنده  
گام اول جهت اعمال استراتژی‌های پیشنهادی دوم و سوم این است که یک تخمینی از فضای جواب مساله بدست آوریم. برای این منظور تعدادی جواب به عنوان مثال هزار جواب به صورت تصادفی تولید و مقادیر اهداف آنها محاسبه می‌شوند. کمترین و بیشترین مقادیر هر یک از اهداف، تقریبی از حدود فضای حل را می‌دهند.

حال باید یک حدود اولیه از فضای مساله که قرار است پارتو حول و در داخل آن ایجاد شود توسط تصمیم‌گیرنده دریافت شود. در این مقاله نویسندگان نقش تصمیم‌گیرنده را داشته و این حدود را تعیین می‌کنند. در این مقاله تصمیم‌گیرندگان ناحیه زرد رنگ در شکل ۳ را به عنوان حدود اولیه معرفی کرده‌اند. خاصیت این حدود، تمرکز و توازن در اهداف بوده است. توجه کنید که هدف تولید پارتو در حاشیه‌های بیرونی سمت چپ و پایین ناحیه زرد رنگ و همچنین در داخل خود این فضا می‌باشد.

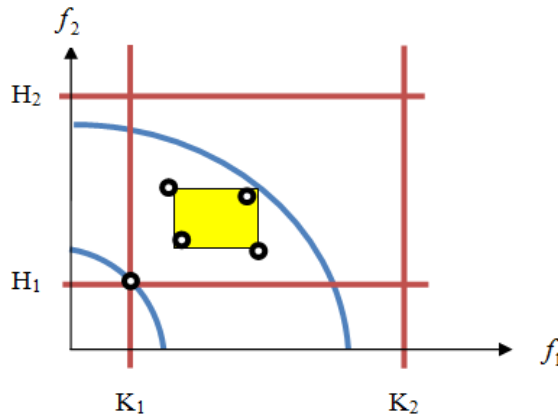


شکل شماره (۳): نمایش تخمین فضای حل مساله و حدود اولیه با نظر تصمیم‌گیرنده

ب) معرفی جواب‌های فرضی و تخمین نقطه‌ای و فاصله‌ای برای معیار پراکندگی (فاصله یا نقاط) گام دوم جهت اعمال استراتژی‌های پیشنهادی دوم و سوم این است که یک تخمین فاصله‌ای برای معیار پراکندگی (فاصله یا نقاط) پیدا شود. برای این منظور ابتدا جواب فرضی اول با مختصات  $(X_2, Y_1)$ ، جواب فرضی دوم با مختصات  $(X_1, Y_2)$ ، جواب فرضی سوم با مختصات  $(X_1+1, Y_1+1)$ ، جواب فرضی چهارم با مختصات  $(X_2-1, Y_2-1)$  و جواب فرضی پنجم با مختصات  $(K_1, H_1)$  معرفی می‌شوند که در شکل ۴ با نقاط مشکی نشان داده شده است. توجه کنید که در مختصات بیان شده، عدد اول مربوط به تابع هدف اول و عدد دوم مربوط به تابع هدف دوم است. حال فاصله مستقیم هر یک از این نقاط را نسبت به مبدا  $(d_x)$  با توجه به رابطه ۴ محاسبه می‌شود. از مقادیر محاسبه شده برای  $d_x$  حدودی برای  $d$  مطابق رابطه ۵ بدست خواهد آمد. حدود بدست آمده از رابطه ۵ در شکل ۴ با کمان‌های آبی نشان داده شده است.

$$d_x = \sqrt{f_1(x)^2 + f_2(x)^2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\min\{d_x; x = 1, \dots, 5\} \leq d \leq \max\{d_x; x = 1, \dots, 5\} \quad (\text{رابطه ۵})$$



شکل شماره (۴): تخمین اولیه حدود برای فاصله مستقیم از جواب‌های فرضی

از پنج جواب فرضی معرفی شده، جواب فرضی اول با مختصات  $(X_2, Y_1)$ ، جواب فرضی دوم با مختصات  $(X_1, Y_2)$ ، جواب فرضی سوم با مختصات  $(X_1+1, Y_1+1)$  را در نظر بگیرید. این جواب‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که خصوصیت غیر غالب بودن را دارا باشند (تشکیل پارتو می‌دهند). حال مقدار متوسط فاصله اقلیدوسی این سه جواب  $(\bar{d}_{1,2,3})$  و معیار پراکندگی فاصله-ای  $(S_{1,2,3})$  را مطابق رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌کنیم.

$$\bar{d}_{1,2,3} = \frac{\sum_{x=1}^3 d_x}{3} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$S_{1,2,3} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^3 (\bar{d}_{1,2,3} - d_x)^2}{3-1}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

از پنج جواب فرضی معرفی شده، جواب فرضی اول با مختصات  $(X_2, Y_1)$ ، جواب فرضی دوم با مختصات  $(X_1, Y_2)$ ، جواب فرضی چهارم با مختصات  $(X_2-1, Y_2-1)$  را در نظر بگیرید. این جواب‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که خصوصیت غیر غالب بودن را دارا باشند. حال مقدار متوسط فاصله اقلیدوسی این سه جواب  $(\bar{d}_{1,2,4})$  و معیار پراکندگی فاصله‌ای  $(S_{1,2,4})$  را مطابق رابطه‌های ۶ و ۷ برای این سه جواب فرضی محاسبه می‌کنیم.

مجدداً حدود دیگری برای فاصله اقلیدوسی جواب‌ها تا مرکز  $(d)$  مطابق رابطه ۸ بدست می‌آوریم که این حدود فشرده‌تر از حدود قبلی است. به این معنا که این حدود حالت سختگیرانه‌تری نسبت به حدود قبلی دارد.

$$\min\{\bar{d}_{1,2,3}, \bar{d}_{1,2,4}\} \leq d \leq \max\{\bar{d}_{1,2,3}, \bar{d}_{1,2,4}\} \quad (\text{رابطه ۸})$$

با توجه به حدود بدست آمده در رابطه‌های ۵ و ۸ برای فاصله اقلیدوسی جواب‌ها، نهایتاً از حدود به صورت بیان شده در رابطه ۹ استفاده می‌شود تا حدود نه حالت خیلی باز (رابطه ۵) و نه حالت خیلی فشرده (رابطه ۸) داشته باشند بلکه حدود با حالت متعادل - تری (رابطه ۹) بدست آوریم.

$$\min\{d_x; x=1, \dots, 5\} \leq d \leq \max\{\bar{d}_{1,2,3}, \bar{d}_{1,2,4}\} \quad (\text{رابطه ۹})$$

با توجه مقادیر پراکندگی محاسبه شده  $(S_{1,2,3}$  و  $S_{1,2,4})$ ، برای معیار پراکندگی حدود به صورت رابطه ۱۰ بدست خواهد آمد.

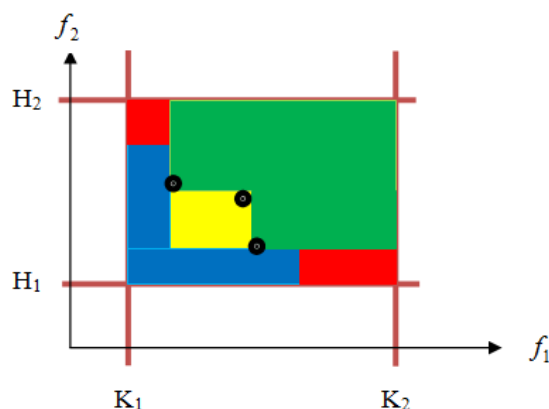
$$0 \leq S \leq \min\{S_{1,2,3}, S_{1,2,4}\} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

ج) شرایط پذیرش جواب‌ها برای آرشیو

از پنج جواب فرضی معرفی شده، جواب فرضی اول با مختصات  $(X_2, Y_1)$ ، جواب فرضی دوم با مختصات  $(X_1, Y_2)$ ، جواب فرضی چهارم با مختصات  $(X_2-1, Y_2-1)$  را در آرشیو الگوریتم قرار داده و الگوریتم با این سه جواب فرضی در آرشیو اجرا می‌شود. علت اینکه با جواب‌های فرضی الگوریتم شروع می‌شود این است که جواب‌های فرضی یک پارتو اولیه از فضای مورد نظر را می‌دهند و با داشتن این پارتو اولیه می‌توان در جهت بهبود آن تلاش کرد. همچنین علت اینکه با جواب فرضی اول با مختصات  $(X_2, Y_1)$ ، جواب فرضی دوم با مختصات  $(X_1, Y_2)$ ، و جواب فرضی سوم با مختصات  $(X_1+1, Y_1+1)$  کار شروع نشده است این می‌باشد که تمامی جواب‌های در ناحیه زرد رنگ در شکل ۴ (ناحیه مورد نظر تصمیم گیرنده) با این سه جواب فرضی غالب می‌شوند. لذا برای از دست ندادن جواب‌های در ناحیه زرد رنگ، الگوریتم با سه حل فرضی معرفی شده شروع شده است.

در شکل ۵ ناحیه اطراف حدود مورد نظر تصمیم‌گیرنده با رنگ‌های مختلف تقسیم‌بندی شده است. هدف در این مقاله تولید جواب‌هایی در ناحیه زرد و آبی می‌باشد. شروع با سه جواب فرضی ذکر شده سبب می‌شود که هیچ جوابی از ناحیه سبز رنگ انتخاب نشود که یکی از مزایای شروع با جواب‌های فرضی بوده است.





شکل شماره (۵): تقسیم‌بندی فضای اطراف ناحیه مورد نظر تصمیم‌گیرنده

بنابراین اگر بخواهیم جوابی را به آرشیو اضافه کنیم بعد از محاسبه فاصله مستقیم برای آن جواب ( $d$ )، رابطه (۹) بررسی می‌شود. توجه کنید که به منظور افزایش دقت می‌توان سمت راست رابطه (۹) را به صورت رابطه (۱۱) نوشت که  $k$  را می‌توان از فاصله  $[0.01, 0.04]$  انتخاب کرد. با توجه به این شرط اولیه، جواب‌هایی که در ناحیه قرمز قرار می‌گیرند شرط ورود به آرشیو را پیدا نمی‌کنند. جواب‌های در نواحی قرمز جواب‌هایی هستند که تنها برای یک هدف خوب عمل می‌کنند و معمولاً متناسب با نظر تصمیم‌گیرنده نمی‌باشند.

$$\min\{d_x : x = 1, \dots, 5\} \leq d \leq \max\{\bar{d}_{1,2,3}, \bar{d}_{1,2,4}\} - k \times \max\{\bar{d}_{1,2,3}, \bar{d}_{1,2,4}\} \quad (\text{رابطه } 11)$$

بعد از اینکه جوابی شرط اولیه ورود به آرشیو را داشت به طور موقت وارد آرشیو شده و سپس مجموعه جواب‌های غیرغالب مجدداً به روز می‌شوند. متوسط فاصله اقلیدوسی برای مجموعه غیرغالب جدید مشابه رابطه (۶) و معیار پراکندگی فاصله‌ای مشابه رابطه (۷) محاسبه می‌شوند. اگر معیار پراکندگی محاسبه شده در رابطه (۱۰) صدق کرد مجموعه جواب‌های غیرغالب جدید پذیرش می‌شوند در غیر این صورت آرشیو بدون تغییر باقی می‌ماند. توجه کنید که به منظور افزایش دقت می‌توان سمت راست رابطه (۱۰) را به صورت رابطه (۱۲) نوشت که  $k$  از فاصله  $[0.01, 0.04]$  انتخاب شود. با توجه به رابطه (۱۲) در حقیقت ما به دنبال جواب‌هایی با تمرکز بیشتر با جواب‌های فرضی (پراکندگی کمتر از جواب‌های فرضی) هستیم.

$$0 \leq S \leq \min\{S_{1,2,3}, S_{1,2,4}\} - k \times \min\{S_{1,2,3}, S_{1,2,4}\} \quad (\text{رابطه } 12)$$

تا اینجا مراحل و فرمول‌های کاربردی در مراحل استراتژی دوم بیان شد. مراحل استراتژی سوم دقیقاً مشابه با استراتژی قبلی است. همچنین فرمول‌های استفاده شده در استراتژی سوم مشابه استراتژی دوم است تنها با این تفاوت که بجای محاسبه معیار پراکندگی فاصله، معیار پراکندگی نقاط محاسبه می‌شود. در این مساله چون دو هدف داریم لذا دو ارزش برای معیار پراکندگی نقاط مطابق روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه می‌شوند.

$$S_{C_{\max}} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^5 (f_1(x) - \bar{f}_1)^2}{5-1}} \quad (\text{رابطه } 13)$$

$$S_{\bar{f}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (f_2(x) - \bar{f}_2)^2}{5-1}} \quad (\text{رابطه } 14)$$

که در رابطه (۱۳) معیار پراکندگی نقاط برای هدف ماکزیمم زمان تکمیل و در رابطه (۱۴) معیار پراکندگی نقاط برای هدف جمع کل تاخیرها محاسبه شده است. در این روابط،  $f_1(x)$  و  $f_2(x)$  به ترتیب ارزش اهداف ماکزیمم زمان تکمیل و جمع کل تاخیرهای حل  $x$  ام و  $\bar{f}_1$  و  $\bar{f}_2$  هم میانگین هر یک از این اهداف به ترتیب می‌باشند.

بنابراین بعد از اینکه جوابی شرط اولیه ورود به آرشیو را داشت (رابطه ۱۱ برقرار بود) به طور موقت وارد آرشیو شده، و معیار پراکندگی نقاط مشابه فرمول‌های (۱۳) و (۱۴) با نام  $S_1$  و  $S_2$  محاسبه می‌شوند. اگر معیار پراکندگی نقاط محاسبه شده در رابطه (۱۵) صدق کرد مجموعه جواب‌های غیرغالب جدید پذیرش می‌شوند در غیر این صورت آرشیو بدون تغییر باقی می‌ماند.

$$\text{رابطه (۱۵)} \quad 0 \leq S_1 \leq S_{C_{\max}} \quad \text{و} \quad 0 \leq S_2 \leq S_{\bar{T}}$$

توجه کنید که به منظور افزایش دقت می‌توان سمت راست رابطه (۱۵) را به صورت رابطه (۱۶) نوشت که  $k$  از فاصله  $[0, 0.4]$  انتخاب شود. با توجه به رابطه (۱۶) در حقیقت ما به دنبال جواب‌هایی با تمرکز بیشتر با جواب‌های فرضی (پراکندگی کمتر از جواب‌های فرضی) هستیم.

$$\text{رابطه (۱۶)} \quad 0 \leq S_1 \leq S_{C_{\max}} - k \times S_{C_{\max}} \quad \text{و} \quad 0 \leq S_2 \leq S_{\bar{T}} - k \times S_{\bar{T}}$$

توجه کنید که در الگوریتم برای نرمال‌سازی اهداف از روابط (۱۷) و (۱۸) استفاده شده است.

$$\text{رابطه (۱۷)} \quad f_1'(x) = \frac{f_1(x)}{f_1^{\max}}$$

$$\text{رابطه (۱۸)} \quad f_2'(x) = \frac{f_2(x)}{f_2^{\max}}$$

در روابط (۱۷) و (۱۸)،  $f_1^{\max}$  و  $f_2^{\max}$  به ترتیب ماکزیمم مشاهده شده از ماکزیمم زمان تکمیل و جمع کل تاخیرها می‌باشد.

### ۳- نتایج و بحث

برای تولید مساله نمونه جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم با سه استراتژی معرفی شده از مسائل کوچک با ۵ مرحله و ۱۵ کار، مسائل متوسط با ۱۰ مرحله و ۲۵ کار، و مسائل بزرگ با ۲۰ مرحله و ۴۰ کار استفاده شده است. تعداد ماشین‌ها در هر مرحله از توزیع یکنواخت از بازه (۱-۴) و (۱-۱۰) تولید می‌شوند. به این نکته باید توجه شود که تعداد ماشین‌ها نباید از تعداد کارها بیشتر باشد. زمان فرآیند برای هر کار در هر مرحله از توزیع یکنواخت از بازه (۷۰-۵۰) و (۱۰۰-۲۰) تولید شده است. زمان‌های آماده-سازی حدود ۲۰٪ تا ۴۰٪ متوسط زمان فرآیند (۶۰) در نظر گرفته شده است. بنابراین حدود زمان‌های آماده‌سازی بین ۱۲ تا ۲۴ می‌باشد. برای هر مساله (کوچک، متوسط و بزرگ) پنج موعد تحویل برای هر کار تولید شده است که برای این منظور از پارامترهای  $\tau$  و  $R$  به ترتیب فاکتور تاخیر و دامنه موعد تحویل (رابطه‌های ۱۹ و ۲۰) استفاده شده است.

$$\text{رابطه (۱۹)} \quad \tau = \frac{1 - \bar{d}_{ue}}{C_{\max}}$$

$$\text{رابطه (۲۰)} \quad R = \frac{d_{ue}^{\max} - d_{ue}^{\min}}{C_{\max}}$$

که  $C_{\max}$ ،  $d_{ue}^{\max}$ ،  $d_{ue}^{\min}$  و  $\bar{d}_{ue}$  به ترتیب ارزش ماکزیمم زمان تکمیل، حداکثر موعد تحویل، حداقل موعد تحویل و میانگین موعد تحویل می‌باشند. توجه کنید که برای  $R$  و  $\tau$  پنج حالت ترکیبی  $(0/0, 2/2), (0/0, 2/8), (0/0, 8/8), (0/0, 8/8)$  و  $(0/0, 5/5)$  در نظر گرفته شده است. در نهایت برای هر ترکیب از  $R$  و  $\tau$ ، زمان تحویل با احتمال  $\tau$  از فاصله  $[\bar{d}_{ue} - R\bar{d}_{ue}, \bar{d}_{ue}]$  و با احتمال  $(1-\tau)$  از فاصله  $[\bar{d}_{ue}, \bar{d}_{ue} + (C_{\max} - \bar{d}_{ue})R]$  تولید می‌شوند.

همچنین از نرم افزار متلب جهت کد کردن الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. با توجه به وجود بعضی شرایط تصادفی در الگوریتم، هر مساله ۵ بار اجرا شده است. توجه کنید که تحلیل نتایج روی خروجی خالص حاصل از خروجی ۵ تکرار انجام شده است. در این مقاله سه استراتژی انتخاب جواب برای آرشیو معرفی شده است که استراتژی‌های لحاظ شده به طور خلاصه به صورت زیر است:

- استراتژی ۱: مرتب‌سازی اولیه جواب‌ها بر اساس قانون گلدبرگ و انتقال جواب‌های در رتبه اول به آرشیو و به روز رسانی آن
- استراتژی ۲: دریافت یک حدود اولیه از فضای مساله توسط تصمیم‌گیرنده و انتخاب جواب برای آرشیو بر اساس معیار پراکندگی فاصله
- استراتژی ۳: دریافت یک حدود اولیه از فضای مساله توسط تصمیم‌گیرنده و انتخاب جواب برای آرشیو بر اساس معیار پراکندگی نقاط

استراتژی اول در ادبیات وجود داشته و استراتژی‌های دوم و سوم پیشنهادی می‌باشند. به منظور قابل قیاس بودن استراتژی اول با دو استراتژی پیشنهادی، حدود اولیه که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود همان ناحیه زرد رنگ روی شکل ۳ لحاظ شده است. به این علت این ناحیه انتخاب شده است که پارتو بهینه هم تقریباً در حاشیه‌های سمت چپ و پایین و داخل ناحیه زرد رنگ شکل می‌گیرد. بنابراین هر مساله توسط الگوریتم با هر سه استراتژی حل و نتایج ثبت شده است. هدف این می‌باشد که بدانیم از سه استراتژی ذکر شده کدام یک مناسب‌تر است. برای استراتژی‌های دوم و سوم باید حدود فضای جواب و حدود مد نظر تصمیم‌گیرنده به الگوریتم داده شود. بنابراین پس از چندین اجرای اولیه حدود فضای جواب برای هر مساله حاصل و نتایج در جدول ۱ آورده شده است. همچنین با توجه به حدود فضای جواب، حدود مورد نظر تصمیم‌گیرنده نیز در جدول آورده شده است.

جدول شماره (۱): حدود فضای جواب و حدود مورد نظر تصمیم‌گیرنده

نوع مساله	مساله	$C_{max}$		$\bar{T}$	
		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
کوچک	S1	۱۳۴۶	۱۴۸۴	۴۰۳	۱۹۱۴
	S2	۱۳۴۶	۱۴۸۴	۹۲	۳۹۵۴
	S3	۱۳۴۶	۱۴۸۴	۸۸۵	۳۷۳۵
	S4	۱۳۴۶	۱۴۸۴	۶۶۵۳	۸۱۶۸
	S5	۱۳۴۶	۱۴۸۴	۶۰۵۰	۸۴۱۷
متوسط	M1	۲۴۲۸	۲۷۴۵	۱۴۳۶	۴۹۶۱
	M2	۲۴۲۸	۲۷۴۵	۸۱۱۱	۱۸۶۹۶
	M3	۲۴۲۸	۲۷۴۵	۱۰۱۸۰	۱۶۷۸۱
	M4	۲۴۲۸	۲۷۴۵	۲۰۸۴۷	۲۴۳۹۳
	M5	۲۴۲۸	۲۷۴۵	۵۳۹۵	۱۴۳۳۱
بزرگ	L1	۲۹۰۲	۳۰۹۶	۰	۱۰۳۲۹
	L2	۲۹۰۲	۳۰۹۶	۲۲۱۴۷	۳۳۸۱۲
	L3	۲۹۰۲	۳۰۹۶	۳۱۹۳۲	۳۷۱۷۷
	L4	۲۹۰۲	۳۰۹۶	۵۳۰۸۱	۵۷۰۷۳
	L5	۲۹۰۲	۳۰۹۶	۲۲۴۱۱	۳۶۳۱۲

نتایج از اجرای الگوریتم برای سه استراتژی در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. در جدول ۲ برای هر استراتژی، ارزش‌های متوسط فاصله اقلیدوسی با توجه به رابطه (۶) و معیار پراکندگی فاصله‌ای نیز با توجه به رابطه (۷) برای مجموعه موثر (مجموعه جواب‌های در آرشیو) محاسبه شده است. از مقایسه مقادیر  $\bar{d}$  (متوسط فاصله اقلیدوسی) هر سه استراتژی مشاهده می‌شود که استراتژی اول اصلاً مناسب نبوده و استراتژی دوم در ۹ مورد و استراتژی سوم در ۶ مورد بهتر عمل کرده است. از مقایسه مقادیر  $S$  (پراکندگی فاصله) هر سه استراتژی مشاهده می‌شود که استراتژی اول در ۲ مورد و استراتژی دوم در ۷ مورد و استراتژی سوم

در ۶ مورد بهتر عمل کرده است. از نتایج در جدول ۲ کاملاً واضح است که استراتژی اول در مجموع مناسب نمی‌باشد و استراتژی دوم به طور نسبی از استراتژی سوم بهتر عمل کرده است.

در جدول ۳ برای هر استراتژی، ارزش‌های معیار پراکندگی نقاط برای هدف ماکزیمم زمان تکمیل بر اساس فرمول (۱۳) و کل تاخیرها بر اساس فرمول (۱۴) برای مجموعه موثر محاسبه شده است. از نتایج در این جدول مشاهده می‌شود که پراکندگی نقاط هر یک از اهداف برای استراتژی اول تنها در یک مورد از ۱۵ مورد مناسب بوده است. بنابراین در ۱۴ مورد دیگر استراتژی‌های دوم و سوم بهتر بوده‌اند که در این بین استراتژی دوم با ۵ مورد و استراتژی سوم با ۹ مورد عملکرد بهتری داشته است. آنچه مشاهده می‌شود این است که تولید پارتو در منطقه مشخص شده توسط تصمیم‌گیرنده با استراتژی‌های پیشنهادی نسبت به استراتژی عمومی به کار رفته در ادبیات موثرتر بوده است.

جدول شماره (۲): ارزش‌های متوسط فاصله اقلیدوسی و معیار پراکندگی فاصله‌ای از استراتژی‌ها (کل اعداد ضرب در  $10^3$ )

مساله	استراتژی اول		استراتژی دوم		استراتژی سوم	
	$S$	$\bar{d}$	$S$	$\bar{d}$	$S$	$\bar{d}$
S1	۰/۰۳۴۲	۱/۴۴۹۸	۰/۰۱۰۷	۱/۴۴۴۸	۰/۰۱۵۵	۱/۴۴۸۳
S2	۰/۳۹۳۷	۱/۶۷۵۰	۰/۰۹۱۳	۱/۴۷۶۵	۰/۰۷۰۴	۱/۴۷۳۷
S3	۰/۱۸۹۳	۱/۸۵۲۳	۰/۰۳۳۲	۱/۷۰۶۹	۰/۰۷۷۲	۱/۷۲۷۳
S4	۰/۰۹۱۳	۶/۹۷۶۷	۰/۰۲۸۴	۶/۹۰۸۹	۰/۰۶۴۱	۶/۹۰۶۳
S5	۰/۱۰۶۸	۶/۲۸۶۹	۰/۱۰۲۴	۶/۲۳۱۵	۰/۰۵۲۰	۶/۲۱۹۱
M1	۰/۱۳۹۶	۲/۹۲۷۴	۰/۰۲۷۳	۲/۸۵۵۴	۰/۰۳۲۵	۲/۹۸۸۵
M2	۱/۴۲۳۳	۹/۷۹۲۴	۰/۱۷۱۹	۸/۴۲۲۴	۰/۰۹۳۶	۸/۶۵۴۳
M3	۰/۶۰۳۲	۱۰/۹۳۶۸	۰/۳۴۴۷	۱۰/۶۲۱۴	۰/۲۱۱۴	۱۰/۷۵۱۳
M4	۰/۱۳۰۳	۲۱/۳۱۳۱	۰/۲۶۴۵	۲۱/۱۱۲۸	۰/۲۱۷۰	۲۱/۱۹۳۳
M5	۰/۴۲۸۸	۶/۳۸۰۸	۰/۴۰۷۴	۶/۳۱۱۹	۰/۰۵۸۸	۶/۱۱۰۵
L1	۰/۵۴۳۹	۳/۲۱۳۹	۰/۰۰۳۷	۲/۹۴۴۲	۰/۰۲۱۴	۲/۹۶۷۸
L2	۱/۳۹۴۵	۲۴/۰۹۶۵	۰/۲۷۲۹	۲۲/۷۶۹۹	۰/۰۷۷۲	۲۲/۵۲۹۳
L3	۰/۱۰۷۹	۳۲/۱۹۳۷	۰/۰۵۸۰	۳۲/۰۲۶۰	۰/۴۶۱۳	۳۲/۳۸۴۵
L4	۰/۱۹۷۱	۵۳/۴۲۹۶	۰/۲۲۷۶	۵۳/۳۹۱۸	۰/۲۶۰۰	۵۳/۳۵۶۱
L5	۲/۳۲۶۹	۲۴/۰۳۵۵	۰/۶۵۹۰	۲۳/۰۹۶۵	۰/۶۶۶۲	۲۳/۲۵۸۶

جدول شماره (۳): ارزش معیار پراکندگی نقاط هر یک از اهداف

مساله	استراتژی اول		استراتژی دوم		استراتژی سوم	
	$S_{\bar{T}}$	$S_{C_{max}}$	$S_{\bar{T}}$	$S_{C_{max}}$	$S_{\bar{T}}$	$S_{C_{max}}$
S1	۲/۰۹۳۲ ( $\times 10^7$ )	۱/۶۷۴۳ ( $\times 10^4$ )	۲/۸۵۵۵ ( $\times 10^7$ )	۲/۴۶۷۲ ( $\times 10^4$ )	۴/۶۴۰۱ ( $\times 10^6$ )	۳/۷۲۶۶ ( $\times 10^7$ )
S2	۲/۳۳۹۶ ( $\times 10^4$ )	۷/۱۶۵۵ ( $\times 10^4$ )	۱/۲۴۰۶ ( $\times 10^7$ )	۱/۰۵۶۳ ( $\times 10^4$ )	۳/۴۲۳۸ ( $\times 10^7$ )	۲/۹۷۷۳ ( $\times 10^4$ )
S3	۳/۶۶۲۵ ( $\times 10^4$ )	۴/۴۷۰۴ ( $\times 10^4$ )	۹/۲۷۳۹ ( $\times 10^7$ )	۱/۶۹۲۰ ( $\times 10^4$ )	۲/۲۱۸۵ ( $\times 10^7$ )	۳/۷۳۱۳ ( $\times 10^7$ )
S4	۸/۵۲۳۹ ( $\times 10^3$ )	۳/۳۴۸۲ ( $\times 10^4$ )	۱/۳۷۶۹ ( $\times 10^3$ )	۵/۵۱۱۹ ( $\times 10^7$ )	۹/۱۷۳۳ ( $\times 10^4$ )	۳/۶۶۱۸ ( $\times 10^7$ )
S5	۳/۳۹۰۹ ( $\times 10^9$ )	۱/۶۶۲۵ ( $\times 10^4$ )	۱/۵۵۳۴ ( $\times 10^3$ )	۷/۷۵۱۸ ( $\times 10^7$ )	۱/۵۴۶۸ ( $\times 10^9$ )	۷/۷۶۵۱ ( $\times 10^7$ )
M1	۵/۱۴۵۶ ( $\times 10^7$ )	۱/۱۹۲۹ ( $\times 10^4$ )	۴/۳۹۹۱ ( $\times 10^7$ )	۱/۱۸۰۴ ( $\times 10^4$ )	۲/۵۷۹۸ ( $\times 10^4$ )	۵/۴۵۲۷ ( $\times 10^4$ )
M2	۲/۱۵۰۸ ( $\times 10^1$ )	۱/۴۷۵۲ ( $\times 10^4$ )	۲/۷۱۶۱ ( $\times 10^3$ )	۲/۶۳۱۰ ( $\times 10^4$ )	۲/۰۵۷۵ ( $\times 10^9$ )	۱/۸۹۳۷ ( $\times 10^4$ )
M3	۲/۲۷۱۱ ( $\times 10^3$ )	۱/۲۱۲۱ ( $\times 10^4$ )	۲/۲۴۰۰ ( $\times 10^1$ )	۱/۲۸۸۲ ( $\times 10^3$ )	۴/۵۹۸۵ ( $\times 10^7$ )	۲/۵۶۲۷ ( $\times 10^6$ )
M4	۸/۹۶۴۶ ( $\times 10^3$ )	۱/۲۰۴۰ ( $\times 10^4$ )	۲/۴۶۲۳ ( $\times 10^1$ )	۳/۳۹۲۳ ( $\times 10^4$ )	۱/۳۲۹۴ ( $\times 10^1$ )	۱/۸۰۹۳ ( $\times 10^4$ )
M5	۳/۸۰۱۸ ( $\times 10^3$ )	۶/۷۲۸۳ ( $\times 10^4$ )	۸/۰۷۱۷ ( $\times 10^3$ )	۱/۴۸۱۷ ( $\times 10^3$ )	۱/۷۳۵۷ ( $\times 10^9$ )	۳/۵۵۰۰ ( $\times 10^4$ )
L1	۴/۴۲۳۳ ( $\times 10^7$ )	۴/۸۱۲۴ ( $\times 10^4$ )	۱/۴۸۹۳ ( $\times 10^6$ )	۳/۶۱۸۲ ( $\times 10^4$ )	۴/۳۳۷۹ ( $\times 10^6$ )	۳/۶۳۵۷ ( $\times 10^4$ )
L2	۱/۰۴۱۰ ( $\times 10^1$ )	۱/۵۶۸۴ ( $\times 10^3$ )	۱/۰۱۹۵ ( $\times 10^1$ )	۱/۷۴۳۸ ( $\times 10^4$ )	۱/۴۹۶۶ ( $\times 10^1$ )	۲/۶۱۱۰ ( $\times 10^4$ )
L3	۵/۷۵۵۶ ( $\times 10^1$ )	۴/۸۴۶۶ ( $\times 10^4$ )	۴/۲۷۱۶ ( $\times 10^1$ )	۳/۶۲۱۲ ( $\times 10^4$ )	۳/۱۲۰۴ ( $\times 10^1$ )	۲/۵۸۵۴ ( $\times 10^4$ )

$۲/۰۴۳۵ (\times 10^{11})$	$۶/۲۰۰۸ (\times 10^4)$	$۳/۱۴۸۹ (\times 10^{11})$	$۹/۳۶۲۸ (\times 10^4)$	$۳/۷۵۶۹ (\times 10^{11})$	$۱/۱۳۵۳ (\times 10^4)$	L4
$۴/۷۹۰۴ (\times 10^{11})$	$۷/۸۲۶۹ (\times 10^4)$	$۹/۵۴۹۴ (\times 10^{11})$	$۱/۵۹۲۱ (\times 10^4)$	$۸/۸۷۶۷ (\times 10^{11})$	$۱/۳۴۹۲ (\times 10^4)$	L5

به طور خلاصه در این تحقیق، مساله زمانبندی دو هدفه در محیط جریان کارگاهی مختلط با فرض زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی مورد بررسی قرار گرفته است. برای حل مساله از الگوریتم ژنتیک چند هدفه مبتنی بر رتبه‌بندی پارتو استفاده شده است تا به جواب‌های موثر دست یابیم. با توجه به اینکه در نهایت این تصمیم‌گیرنده است که باید از بین جواب‌های در آرشیو (جواب‌های موثر) یک جواب را انتخاب کند لذا در این تحقیق جهت انتخاب جواب برای آرشیو دو پیشنهاد جدید بررسی شده است. در استراتژی‌های پیشنهادی، نظر تصمیم‌گیرنده در انتخاب جواب‌ها مد نظر قرار داده شده است. در حالی که در گذشته برای حل مسائل دو هدفه فقط به تولید پارتو در فضای مساله بدون هیچ محدودیتی پرداخته می‌شد. بعد از تولید مسائل نمونه الگوریتم ژنتیک با سه استراتژی (دو تا پیشنهادی و یکی هم استراتژی عمومی در ادبیات) اجرا و با توجه به مجموعه جواب‌های موثر در آرشیو، استراتژی مناسب تعیین شده است. نتایج گویای این حقیقت بوده است که استراتژی‌های پیشنهادی نسبت به استراتژی در ادبیات عملکرد بهتری داشته است. با توجه به اینکه برای اولین بار به این مقوله توجه شده است لذا محققین می‌توانند با طراحی استراتژی‌های دیگر به تکمیل این تحقیق کمک کنند.

#### ۴- منابع

1. Baker, K.R. (1974). *Introduction to sequencing and scheduling*. Wiley, New York.
2. Behnamian, J., Fatemi Ghomi, S.M.T., Zandieh, M. (2009). A multi-phase covering Pareto-optimal front method to multi-objective scheduling in a realistic hybrid flowshop using a hybrid metaheuristic. *Expert Systems with Applications*, 36(8): 11057–11069.
3. Hosseini, S.M.H. (2017). A multi-objective genetic algorithm (MOGA) for hybrid flow shop scheduling problem with assembly operation. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10: 132-154.
4. Khalili, M. (2012). Multi-objective no-wait hybrid flowshop scheduling problem with transportation times. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 7(2): 147-154.
5. Linn, R., Zhang, W. (1999). Hybrid flow shop scheduling: A Survey. *Computers & Industrial Engineering*, 37(1-2): 57-61.
6. Mousavi, S.M., Zandieh, M., Amiri, M. (2011). An efficient bi-objective heuristic for scheduling of hybrid flow shops. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(1): 287-307.
7. Mousavi, S.M., Mahdavi, I., Rezaeian, J. Zandieh, M. (2016). An efficient bi-objective algorithm to solve re-entrant hybrid flow shop scheduling with learning effect and setup times. *Operational Research International Journal*, <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0257-6>.
8. Rashidi, E., Jahandar, M., Zandieh, M. (2010). An improved hybrid multi-objective parallel genetic algorithm for hybrid flow shop scheduling with unrelated parallel machines. *International Journal of Advanced manufacturing Technology*, 49(9): 1129–1139.
9. Tran, T.H., Ng, K.M. (2013). A Hybrid water flow algorithm for multi-objective flexible flow shop scheduling problem. *Engineering Optimization*, 45(4): 483-502.
10. Ying, K.C., Lin, S.W., Wan, S.Y. (2014). Bi-objective reentrant hybrid flowshop scheduling: an iterated Pareto greedy algorithm. *International Journal of Production Research*, 52(19): 5735-5747.

