فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال یازدهم / شماره ۳۶/ تابستان ۱۳۹۵

حداقلسازی توابع هدف غیرنزولی برای مسئله زمان‌بندی واحد زمان کارگاه باز با الگوریتم ژنتیک

قربانعلی محمدی(نویسنده مسؤول)
دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی قم
Email: Mohammadi.g@qut.ac.ir
طاهر دعالی مطوریان
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی– مرکز بین المللی خلیج فارس

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۴ * تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۲۸

چکیده

در عصر حاضر، برنامه ریزی فعالیتی ضروری و اجتناب ناپذیر در تمام امور فردی، اجتماعی و سازمانی محسوب میشود. به نحوی که بدون توجه به آن هیچ فعالیتی به صورت کارآمد و موثر تحقق نخواهد گرفت. یکی از مسائل مهم مورد بحث در علم تحقیق در عملیات راجع به موضوع زمان‌بندی است. این مطالعه به مسئله کارگاه باز میپردازد، زیرا در سالهای اخیر، کاربرد مدل‌های ریاضیاتی برای حل بهینه ای مسائل زمانبندی توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. در این راستا، بسیاری از تحقیقات درباره مدلسازی کار کارگاهی و جریان کارگاهی بوده و روی فرمول‌بندی مسئله زمان‌بندی کارگاه باز انجام شده است. هدف این تحقیق یافتن راه حلی ساده و بهینه برای مسئله زمان‌بندی کارگاه باز با تابع هدف تفکیکپذیر با استفاده از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک می باشد. در الگوریتم این مسئله، عملگر تقاطع PMX و عملگر جهش جابهجایی استفاده شد. در ادامه نیز مقایسهای میان جوابهای به دست آمده به سه روش انتخاب متفاوت در کدبندی الگوریتم ژنتیک شامل روشهای انتخاب برتر، انتخاب تورنمنتی و انتخاب چرخ رولت صورت می گیرد. اطلاعات مورد نیاز برای این پژوهش بهصورت کتابخانهای و مراجعه به اسناد، مدارک و سایتهای معتبر جمع آوری شد. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن بود که مسئله زمانبندی کارگاه باز با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک راحت تر و سریعتر به جواب می رسد و روش انتخاب برتر جواب بهتری را نسبت به دو روش دیگر نشان میدهد.

کلمات کلیدی: کارگاه باز، الگوریتم ژنتیک، روش تقاطع PMX ، جهش جابجایی، تابع هدف تفکیک پذیر.

۱- مقدمه

برنامه‌ریزی فعالیت مستمری است که نه تنها رسیدن به مقصد نهایی در آن مد نظر می باشد بلکه به راهکارها، روش‌های وصول به آن و همچنین تعیین روش مناسب نیز توجه می‌شود (Karuno & Nagamochi, 2004). می‌توان گفت امروزه برنامه‌ریزی به عنوان فعالیتی ضروری و اجتناب‌ناپذیر در کلیه فعالیت‌ها از قبیل فعالیت‌های اقتصادی، سیاسی، سازمانی، فردی، اجتماعی و آموزشی مطرح می‌باشد. به‌نحوی که بدون توجه به آن هیچ فعالیتی به صورت کارآمد و موثر قابل تحقق نخواهد بود. با رشد مباحث برنامه‌ریزی و ورود این مباحث در بخش‌های تولیدی مقوله‌ای به نام برنامه‌ریزی تولید مطرح شد. برنامه‌ریزی را می‌توان تصمیم‌گیری برای وضعیت‌های پیش آمده در آینده و برنامه‌ریزی تولید[1] را به معنی تعیین راهکارها و استراتژی‌های تولید برای نحوه تخصیص خطوط تولیدی برای پاسخ به سفارشات مشتریان بیان کرد. از مهمترین موارد در تهیه برنامه زمانی تولید برای خطوط تولیدی، تعیین اندازه انباشته، توالی سفارشات و نحوه تخصیص منابع در طول زمان است (Baker, 1995). همچنین در بخش صنعت جهت تصمیم‌گیری در خصوص فرآیندها و نحوه انجام کارها تصمیماتی تحت عنوان تصمیمات برنامه‌ریزی شناخته شده‌اند. در بحث زمانبندی که از جمله مسائل تصمیم‌گیری است، نیز معمولا در زمینه بسیاری از صنایع تولیدی و خدماتی استفاده می‌شود. یک سیستم زمان‌بندی کارا تاثیر به‌سزایی بر کاهش قیمت، افزایش بهره‌وری، رضایت مشتریان و به‌طور کلی سود رقابتی دارد (Mohammadi, 2015).

مورتون و پنتیکو (۱۹۹۳) زمان‌بندی[2] و توالی[3] را چنین تعریف کردند؛ توالی و زمان‌بندی شکلی از تصمیم‌گیری هستند که نقش اساسی در ساخت و خدمات صنعتی ایفا می‌کنند. در محیط‌های رقابتی کنونی زمان‌بندی و توالی یک ضرورت موثر برای بقاء در بازار می‌باشد. به بیان دیگر، زمان‌بندی تخصیص منابع در طول زمان برای اجرای مجموعه‌ای از وظایف است. وظیفه زمان‌بندی را می‌توان زمان شروع و یا زمان تکمیل هر عملیات (از هر کار) مطابق با روابط اولویت تعریف کرد یا به‌طور کلی می‌توان گفت که زمان‌بندی، فرآیند تخصیص منابع محدود به فعالیت‌ها در طول زمان است، که هدف آن بهینه‌سازی یک و یا چند تابع هدف با تخصیص منابع مشخص در یک دوره زمانی معین می‌باشد (França et al., 2005). در این زمینه، منابع شامل نیروی انسانی، ماشین‌آلات، مواد، تجهیزات کمکی و غیره می‌باشند. عملیات‌های ماشین‌آلات، حرکت‌ها، انتقالات و بارگیری‌ها و غیره نیز به‌عنوان مثال‌هایی از فعالیت‌ها مطرح می‌باشند. یکی از بخش‌های اساسی مسائل زمان‌بندی، تصمیم‌گیری در خصوص نحوه تخصیص منابع و توالی عملیات می‌باشد. تحقیقات زیادی درباره زمان‌بندی انجام شده که از مدل‌های ریاضیاتی برای مدل سازی و پاسخ به نحوه تخصیص منابع و توالی عملیات استفاده کرده‌اند. در خصوص بررسی مسائل زمان‌بندی، در تمامی مسائل زمان‌بندی تعداد ماشین‌ها (منابع) و کارها (فعالیت‌ها) محدود می‌باشند. تعداد کارها معمولا با n و تعداد ماشین‌ها با m نمایش داده می‌شود. هنگام اشاره به یک کار از نماد j و هنگام اشاره به یک ماشین از نماد i استفاده می‌شود.

- ساختار استاندارد مسائل زمان‌بندی:

یک مسئله زمان‌بندی عمومی می‌تواند با استفاده از سه نماد به‌صورت زیر تعریف شود:

$$\alpha|\beta|\gamma \qquad (۱)$$

- α بیانگر وضعیت و شرایط ماشین یا منبع است و معمولا دارای یک نماد است.
- β خصوصیات و جزئیات نحوه پردازش و محدودیت‌های موجود را بیان می‌کند و ممکن است شامل هیچ نمادی نباشد و یا چندین نماد را دربرگیرد.
- γ بیانگر تابع هدف مسئله است و معمولا شامل تنها یک نماد می‌باشد (Alharkan, 2005).

در مسائل زمان‌بندی مدل می‌تواند شامل یک و یا چند ماشین باشد. همچنین، مجموعه کارها جهت فرآیند زمان‌بندی ممکن است ثابت و یا متغیر (طی فرآیند کارهای جدید به سیستم اضافه شود) باشد که به‌ترتیب سیستم را ثابت یا پویا گویند. در حالی‌که مسئله حداقل‌سازی تابع هدف مسئله توجه محققان زمان‌بندی را به خود جلب کرده است، تا کنون برای مسائل تک‌ماشینی الگوریتم‌های زمان چندجمله‌ای به‌طور عمده‌ای بررسی شده است. از این رو، این گونه مسائل با تابع هدف مشخص مسئله جزء مسائل ترکیبی سخت محسوب می‌شوند. ممکن است تاثیرات زمان‌بندی روی اهداف مورد نظر خیلی واضح نباشد و یا اینکه این سوال مطرح شود که آیا صرف وقت و انرژی جهت

[1] Production planning
[2] Scheduling
[3] Secquencing

پیدا کردن یک زمان‌بندی خوب در مقایسه با انتخاب یک زمان‌بندی تصادفی ایجاد شده منطقی به نظر می‌رسد؟ در عمل، اغلب معلوم می‌شود که انتخاب زمان‌بندی حقیقتا تاثیر چشمگیری روی عملکرد سیستم دارد و صرف انرژی و زمان جهت یافتن یک زمان‌بندی مناسب منطقی است. زمان‌بندی از نقطه نظر فنی و اجرایی می‌تواند کاری سخت باشد. انواع مشکلاتی که زمان‌بندی از نظر فنی با آن مواجه بوده، مشابه با آن دسته از مشکلاتی است که در بهینه‌سازی ترکیباتی و مدل‌سازی تصادفی با آنها روبه‌رو هستیم. مشکلات اجرایی از نوع کاملا متفاوتی هستند. این مشکلات ممکن است به دقت مدلی که برای تحلیل مسئله زمان‌بندی حقیقی از آن استفاده شده و نیز اعتبار داده‌های ورودی مورد نیاز بستگی داشته باشند (Pinedo, 2008). مسئله زمان‌بندی کارگاه باز برای کارها و ماشین‌های یکسان به‌طور قابل ملاحظه‌ای از فضای جواب بزرگی برخوردار است. البته بعضی از مسائل کارگاه باز با ساختارهای خاص توسط الگوریتم‌های دوجمله‌ای زمانی قابل حل هستند. برای تعداد بسیاری از مسائل با توجه به ماهیت کاملا سخت آنها، به کار بردن چنین الگوریتم‌هایی برای رسیدن به جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه چندان کارا نمی‌باشد (Pinedo, 2008). یکی از اولین الگوهای طبقه‌بندی برای مسائل زمان‌بندی توسط کونوی، ماکسول و میلر (۲۰۱۲) ایجاد شده است. لاولر، لنسترا، رینوی کان و شیمویس (۱۹۸۲) این الگو را به‌طور همه جانبه اصلاح کردند. لی و هرمان (۱۹۹۳) بسطهای دیگری را انجام دادند که چارچوب ارائه شده توسط آنها، تغییری دیگر از یادداشت‌های لاولر و همکاران (۱۹۸۲) بوده که نتایج متفاوتی داشت.

امروزه بیشتر محققان برای یافتن جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه مسائل زمان‌بندی از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌کنند. ادیری (۱۹۸۹) الگوریتم جستجو ممنوع را با استفاده از لیستی از الگوریتم‌های ساده زمان‌بندی پیشنهاد کردند. فانگ (۱۹۹۴) یک الگوریتم ژنتیک هیبریدی را با قوانین ساختمانی زمان‌بندی اکتشافی ساده ارائه دادند. سراج و توکلی مقدم (۲۰۰۹) یک الگوریتم جستجوی ممنوع چندهدفه جدیدی را برای مسئله کارگاه باز دوهدفه ارایه نمودند که بر مبنای رویکرد تصمیم‌گیری چندهدفه فازی بود. آنها مسئله پیشنهادی خود را با پارامترهای قطعی در نظر گرفته و در آن به حداقل‌سازی میانگین زمان‌های تکمیل و میانگین مقادیر دیرکرد پارامترهای قطعی به‌طور همزمان پرداختند. در مدل ارایه شده، زمان‌های آماده‌سازی به‌صورت مستقل از توالی در نظر گرفته شد. در تحقیقی توسط زوبولاس، تارانتیلیس و ایونو (۲۰۰۹) برای حل یک مسئله زمان‌بندی کارگاه باز روش حل فراابتکاری هیبریدی به‌کار برده شد. مقیاس بهینه‌سازی در این مقاله حداقل‌سازی زمان اتمام کار بود. روش حل شامل چهار مجموعه بود: ۱- تولید جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی، ۲- حل ابتکاری به‌منظور به‌دست آوردن جمعیت اولیه به‌صورت NEH برای مسئله زمان‌بندی جریان کارگاهی و دو الگوریتم فراابتکاری، ۳- الگوریتم جستجوی متغیرهای همسایگی، ۴- الگوریتم ژنتیک. در ابتدا، الگوریتم ژنتیک هیبریدی و سپس برای مسئله کارگاه باز جستجوی متغیر همسایگی استفاده شد. مقایسه آزمایش‌های صورت گرفته روی مجموعه‌های اطلاعات محک‌زنی حاکی از آن بود که الگوریتم فراابتکاری هیبریدی در زمان‌های محاسباتی کوتاه به جواب باکیفیت‌تری منتج شد.

محمدی (۲۰۱۵) به مسئله زمان‌بندی از طریق تکنیک بهینه‌سازی الگوریتم‌های قوی ژنتیک پرداخت و توانست با مقایسه نتایج به‌دست آمده با دیگر الگوریتم‌های ابتکاری مانند LPT[4]، NEH[5]، SPT[6] و EDD[7] ثابت کند که برای مسائل کاملا سخت استفاده از الگوریتم-های فراابتکاری ژنتیک سودمند بوده و راحت‌تر به جواب می‌رسد. تاکنون طی پژوهش‌های انجام شده روی مسئله زمان‌بندی کارگاه باز و حل به روش الگوریتم‌های فراابتکاری، به‌ویژه الگوریتم ژنتیک، هیچ گونه مقایسه‌ای درباره‌ی نحوه‌ی انتخاب والدین صورت نگرفته است. لذا با توجه به تابع هدف تفکیک‌پذیر غیرنزولی چنگ و شخلویچ (۲۰۰۵) و تبعیت از روش محمدی (۲۰۱۵)، در این تحقیق به دنبال یافتن بهترین توالی کارها با حداقل زمان با انتخاب جمعیت اولیه به سه روش تورنمنتی، چرخ رولت و انتخاب برتر بوده و در انتها مقایسه‌ای بین جواب‌ها انجام شد. در این مطالعه ما به مسئله کارگاه باز می‌پردازیم زیرا محیط‌های کارگاهی باز نظیر کار کارگاهی و جریان کارگاهی در بسیاری از فرآیندهای صنعتی و خدماتی استفاده می‌گردد. حال آنکه محیط کارگاه باز یک محیط کارگاهی است که در آن هیچ توالی وابسته به عملیاتی وجود ندارد. بنابراین، دارای فضای جواب گسترده‌تری نسبت به سایر محیط‌های کارگاهی است. در نتیجه، توجه کمتری به مسئله کارگاه باز نسبت به سایر محیط‌ها شده است. این مقاله متشکل از بخش‌های زیر است بخش دوم به روش‌شناسی موضوع شامل

[4] Longest processing time
[5] Nawaz, Enscore & Ham
[6] Shoetest processing time
[7] Earliest due date

تعریف مساله و مفروضات مدل پیشنهادی ، علایم و اصطلاحات مدل ریاضی ارایه شده و در نهایت تشریح الگوریتم ژنتیک مسئله می-پردازیم. در بخش سوم با بیان مثال و ارایه نتایج محاسباتی و نمودارها و جداول، نتیجه‌گیری حاصل از مدل‌سازی مساله‌ی مورد نظر و پیاده‌سازی آن در نرم‌افزار متلب بیان خواهد شد.

۲- مواد و روشها

تشریح مساله، طی ۵۰ سال اخیر، میزان قابل توجهی از تلاش‌های دانشمندان و محققان به زمان‌بندی معطوف شده است. تنوع و تعدد مدل‌های ارائه شده اعجاب‌آور است. بنابراین، یک نماد مطرح شده که به‌شکل اختصاری ساختار خیلی از مدل‌های قطعی (اما نه همه آنها) را دربرگیرد. با توجه به آنچه گفته شد در تمامی مسائل مورد بررسی زمان‌بندی تعداد ماشین‌ها (منابع) و کارها (فعالیت‌ها) محدود می‌باشند. تعداد کارها معمولا با n و تعداد ماشین‌ها با m نمایش داده می‌شود. هنگام اشاره به یک کار از نماد j و هنگام اشاره به یک ماشین از نماد i استفاده می‌شود.

یک مسئله زمان‌بندی عمومی می‌تواند با استفاده از سه نماد به‌صورت زیر تعریف شود:

| |

۱. بیانگر وضعیت و شرایط ماشین یا منبع بوده و معمولا دارای یک نماد است.

۲. خصوصیات و جزئیات نحوه پردازش و محدودیت‌های موجود را بیان می‌کند و ممکن است شامل هیچ نمادی نباشد و یا چندین نماد وجود داشته باشد.

۳. بیانگر تابع هدف مسئله است و معمولا شامل تنها یک نماد می‌باشد.

مدل ریاضی مسئله زمان‌بندی کارگاه باز با واحد زمان این تحقیق عبارت است از:

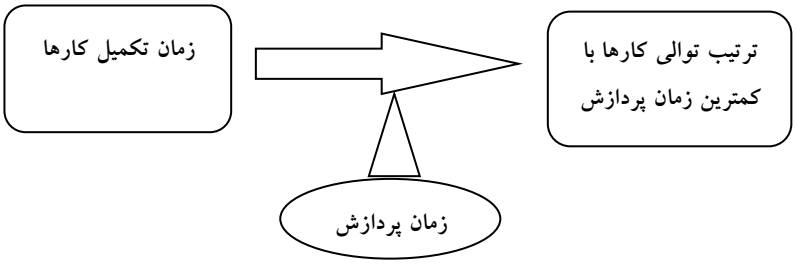
$$O_m|P_{ij}=1|F \qquad (۱)$$

و تابع هدف این مسئله:

$$F = \sum_{i=1}^{n} w_i f(C_i) \qquad (۲)$$

که یک تابع تفکیک‌پذیر و غیرنزولی می‌باشد. برنامه‌ریزی تفکیک‌پذیر حالت خاصی از برنامه‌ریزی محدب است. یک تابع تفکیک‌پذیر تابعی است که هر جمله آن فقط یک متغیر دارد. به‌طوری که بتوان این تابع را به مجموع توابع یک متغیری تفکیک کرد. هر کدام از توابع $f_j(x_j)$ فقط شامل جملات مربوط به x_j می‌شوند. در برنامه‌ریزی تفکیک‌پذیر، فرض جمع‌پذیری صدق می‌کند، در حالی‌که فرض تناسب به علت غیرخطی بودن توابع برقرار نیست. برنامه‌ریزی تفکیک‌پذیر اولین بار توسط میلر معرفی شد. روش ابداع شده توسط میلر را می‌توان مفیدترین تکنیک در برنامه‌ریزی غیرخطی دانست. فرض اساسی در برنامه‌ریزی تفکیک‌پذیر مربوط می‌شود به این مهم که تمامی توابع مسئله جداشدنی هستند (França, 2005).

مدل مفهومیی ، با توضیحات داده شده، به اهمیت موضوع زمان‌بندی و تعیین بهترین توالی کارها رسیدیم. مدل پیشنهادی ارائه شده در شکل (۱)، با توجه به مدل‌های پیشین و بررسی متغیرهای هر یک، تعاریف و مفاهیم آنها به‌دست آمده است. پارامتر های مسله شامل:



شکل شماره (۱) الگوی مفهومی متغیرهای مسئله

n	تعداد کار
m	تعداد ماشین
w_i	اهمیت کار

Ci	زمان تکمیل کار
P_{ij}	زمان پردازش کار i توسط ماشین j
O	بیانگر مشخصات محیط مسئله کارگاه باز
C_{max}	بیانگر زمان اتمام کارها
i	نماد کار iام
j	نماد کار jام

مفروضات مدل، با توجه به کارهایی که در حین تولید یک زمان‌بندی می‌بایست انجام شوند و یا برعکس انجام نشوند، فرضیاتی ایجاد می-گردد. بنابراین، در این تحقیق فرضیات ذیل برای مسئله مطرح شد:

۱. کارها با هر توالی دلخواه روی ماشین‌ها پردازش شوند.
۲. هر کار در هر زمان حداکثر روی یک ماشین پردازش شد.
۳. هر ماشین در هر لحظه حداکثر یک کار را پردازش کرد.
۴. زمان پردازش هر عملیات لزوماً برابر نیست.
۵. وقفه‌ی در کارها مجاز نمی‌باشد. بدین معنی که اگر کاری وارد ماشینی شد، تا پایان پردازش درماشین می‌ماند و جدا نمی‌شود.
۶. زمان آماده‌سازی کارها مستقل از زمان پردازش و وابسته به ماشین تخصیص داده شده بود.
۷. زمان جداسازی کار از ماشین مستقل از زمان پردازش و وابسته به کار بعدی بود که روی آن ماشین پردازش می‌شد.
۸. عدم دسترسی به ماشین‌ها در یک یا چند بازه زمانی از قبل پیش‌بینی شده مجاز بود.
۹. تمامی زمان‌های پردازش، آماده‌سازی، موعد تحویل و اهمیت کارها به‌صورت قطعی در نظر گرفته شد.
۱۰. تمامی ماشین‌ها در ابتدا در دسترس بودند.

طراحی الگوریتم، مسائل بهینه‌سازی به دشواری این مسائل و یا حتی دشوارتر از آن، به‌عنوان مسائل کاملا سخت[۴] شناخته می‌شوند. در این مسائل دستیابی به جواب بهینه بعضا دشوار و بسیار وقت‌گیر خواهد بود. بنابراین توسعه روش‌های ابتکاری و دستیابی به جواب‌های نسبتا خوب در ارتباط با این مسائل می‌تواند کارایی بالایی داشته باشد. در میان الگوریتم های تصادفی، الگوریتم ژنتیک از کارایی بالایی برخوردار بوده و کاربردهای فراوانی دارد. در این تحقیق نیز برای یافتن توالی کارها با حداقل زمان اتمام کار از الگوریتم ژنتیک استفاده کردیم. الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم های فراابتکاری موفق برای جستجوی راه حل های بهینه و نزدیک به بهینه مربوط به مسائل با اندازه های مختلف و با زمان حل معقول به شمار می رود. در سال‌های اخیر الگوریتم ژنتیک کاربرد موفقیت‌آمیزی روی دسته وسیعی از مسائل بهینه‌سازی سخت داشته است. به‌طور خلاصه گفته می‌شود که الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به-عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. به بیان دیگر، الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجو در علم کامپیوتر برای یافتن راه حل بهینه در مسائل جستجو است. از دیدگاه نظری و تجربی ثابت شده که روش الگوریتم ژنتیک یک جستجوی قدرتمند در فضای پیچیده به‌وجود می‌آورد. از آنجایی‌که معتبر بودن این فرآیند در حل مسائلی که احتیاج به جستجوی موثر و کارآمد دارند، ثابت شده، کاربرد آن در زمینه‌های مختلف گسترش یافته است. دلیل استفاده فراوان از این روش در زمینه‌های متفاوت این می‌باشد که، از یک طرف، به لحاظ محاسباتی ساده بوده و از طرف دیگر، در مرحله جستجو بسیار قدرتمند می‌باشد. علاوه بر این، از لحاظ مبانی و اصول به فرضیات محدودکننده در فضای جستجو نظیر پیوستگی و یا وجود داشتن مشتقات توابع محدود نمی‌باشد(Mohammadi, 2011).

ساختار کلی الگوریتم ژنتیک ، ساختار کلی الگوریتم ژنتیک را می‌توان این چنین بیان کرد. ابتدا بیش از هر چیز باید مکانیزمی برای تبدیل هر جواب مسئله به یک کروموزم تعریف کرد. پس از آن یک مجموعه از کروموزم‌ها، که در حقیقت مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله هستند، به‌عنوان یک جمعیت آغازین تهیه کرد. این مجموعه که اندازه آن دلخواه است و توسط کاربر تعریف می‌شود، اغلب به‌صورت تصادفی ایجاد می‌گردد. بعد از این مرحله باید با به‌کارگیری عملیات ژنتیک اقدام به ایجاد کروموزم‌های جدید موسوم به فرزند کرد. این عملیات به دو گونه عمده تقاطعی و جهش تقسیم‌بندی می‌شوند. همچنین برای گزینش کروموزم‌هایی که باید نقش والدین را بازی کنند، دو مفهوم نرخ تقاطعی و نرخ جهشی کاربرد فراوان دارند. این دو نیز پیش از شروع الگوریتم توسط کاربر تعیین می‌شود. بعد از تولید یک

سری کروموزم جدید (فرزندان)، باید با استفاده از عمل تحول اقدام به انتخاب برازنده‌ترین کروموزم‌ها کرد. این فرآیند که در فرآیند انتخاب نمود می‌یابد، گلچین کردن کروموزم‌های برازنده در میان والدین و فرزندان است به‌طوری که تعداد کروموزم‌های منتخب برابر اندازه جمعیت اولیه باشد. فرآیند انتخاب مبتنی‌بر مقدار برازندگی هر رشته است. در حقیقت فرآیند ارزیابی محوری‌ترین مبحث در فرآیند انتخاب است. تا این مرحله یک تکرار یا یک نسل از الگوریتم طی شده است. الگوریتم بعد از طی چندین نسل به‌تدریج به‌سمت جواب بهینه همگرا می‌شود. شرط توقف مسئله نیز طی کردن تعداد معینی تکرار است که پیش از آغاز الگوریتم توسط کاربر تعیین می‌شود. براساس نظر دب (۱۹۹۵)، نمی‌توان گفت که کدامیک از روش‌های ادغام بهتر است. بنابراین، انتخاب یک روش ادغام مناسب با توجه به سلیقه افراد و شرایط مسئله دلخواه صورت می‌گیرد. نرخ ادغام در الگوریتم ژنتیک به‌صورت یک احتمال بین صفر و یک می باشد که این نرخ با پیدا کردن نسبت تعداد جفت‌های ادغام شده در جمعیت‌های ثابت به‌دست می‌آید. با فرض احتمال ادغام می‌توان گفت که چه درصدی از رشته‌ها در عملیات ادغام به‌کار رفته و چه درصدی باقی مانده است. هر چقدر این مقدار بیشتر باشد، یعنی کروموزم‌های جدید و زیادتری وارد جمعیت-های برتر شده‌اند. اما اگر این مقدار خیلی زیاد شود، باعث می‌شود تا فرصت تطابق در کروموزم از دست برود. همچنین اگر این مقدار خیلی کم باشد، تعداد فرزندان تولید شده کافی نخواهد بود (Alam-Tabriz & Mohmmadrahimi, 2013).

گام های اجرایی الگوریتم ژنتیک به شرح ذیل می باشد:

۱- شروع الگوریتم با ایجاد یک جمعیت اولیه

۲- محاسبه تابع تناسب هر فرد

۳- انتخاب والدین براساس شایستگی بهتر برای تولید مثل

۴- اعمال عملگر تقاطع و تولد فرزندان از طریق والدین

۵- اعمال عملگر جهش روی بعضی از اعضای جمعیت

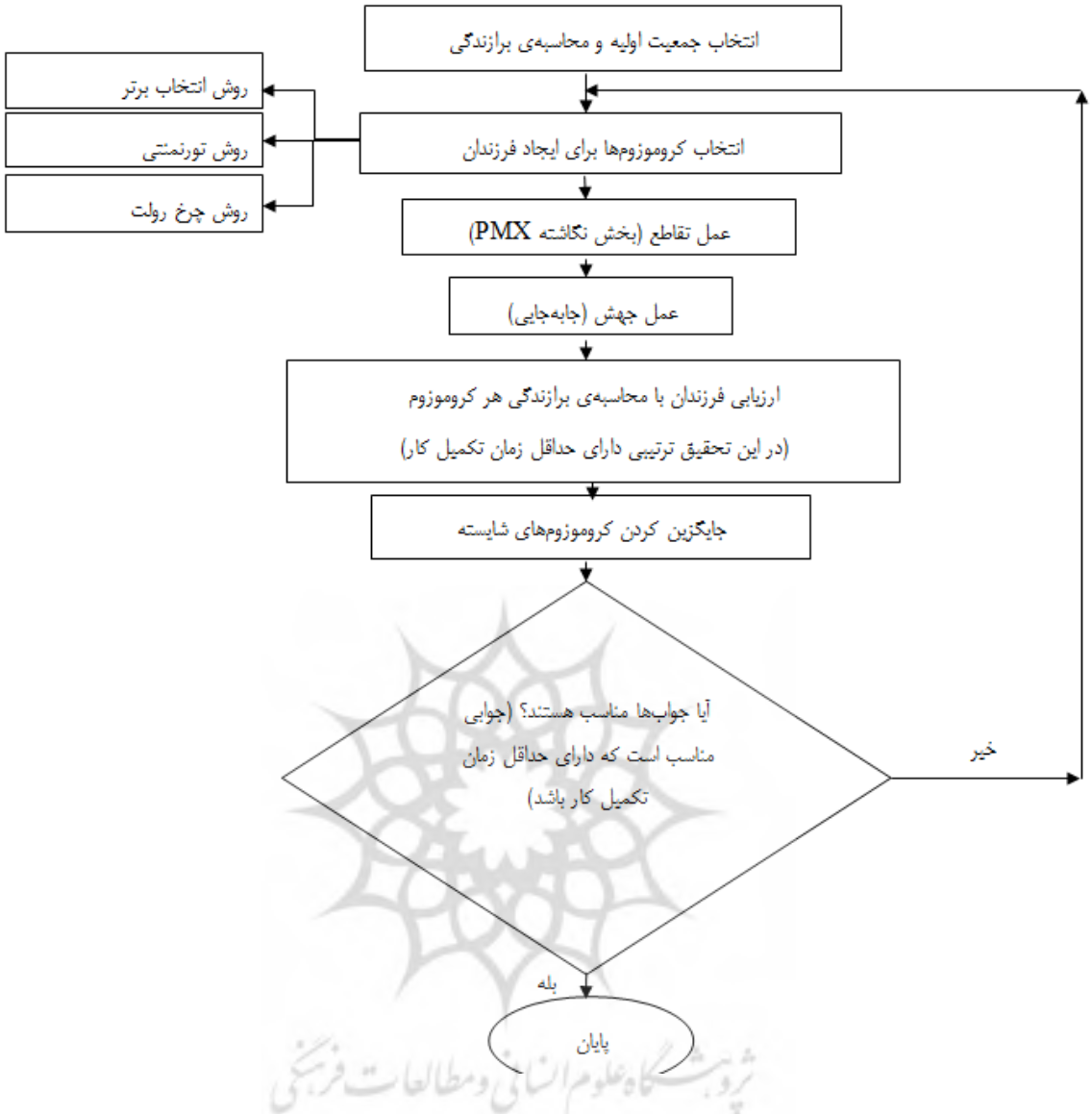
خیر ۶- قرار دادن فرزندان متولد شده داخل یک مجموعه به‌عنوان نسل جدید (تشکیل موقت)

۷- تغییر دادن جمعیت اولیه همراه با ورود نسل جدید و ایجاد نسل بعدی

۸- رفتن به مرحله دوم

۹- توقف

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل شماره (۲): تجزیه و تحلیل داده ها (یافته های تحقیق)

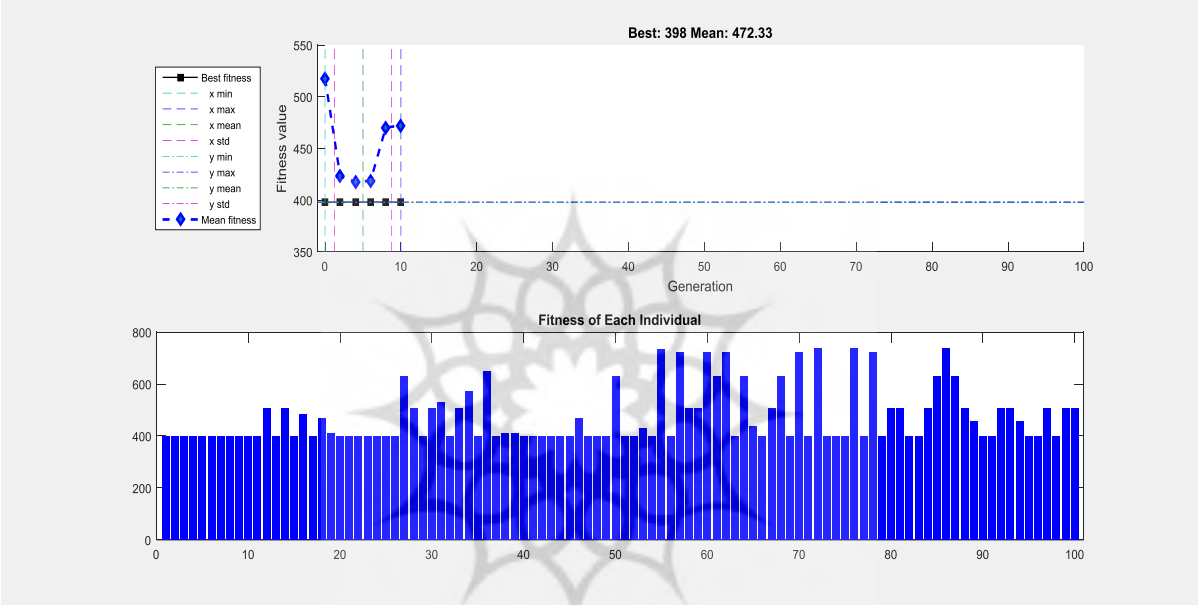
۳- بحث و نتایج

نمودارها نشان‌دهنده مقدار برازندگی بوده که محور عمودی آن نشانگر مقدار برازندگی و محور افقی نشانگر نسل‌ها می‌باشد. در این نمودار، یک مجموعه از نقاط (خط ممتد با مربع‌های سیاه) نشان داده شده که مبین بهترین جواب در طول تکرار نسل‌ها قبل از شرط توقف است. مجموعه دیگری از نقاط (خطوط بریده شده و لوزی‌ها) وجود دارد که مقدار برازندگی هر نسل (لوزی) را قبل از شرط توقف به تصویر کشیده که در حقیقت، همان حداقل زمان اتمام کار می‌باشد (تعداد تکرار نسل‌ها در اینجا ۱۰ نسل بود). نمودار دوم که مقدار برازندگی همه نسل‌ها را نشان می‌داد (در اینجا تعداد نسل‌ها ۱۰۰ نسل بود). هر نسل با یک نمودار میله‌ای نشان داده می‌شود. اطلاعات زمانی عملیات نیز در جداول خلاصه شده که شماره ماشین (m)، شماره کار (j)، زمان پردازش (p)، زمان راه‌اندازی (t_s) و زمان اتمام کار (t_E) می‌باشد. این جداول نحوه تخصیص کارها به ماشین‌ها، زمان پردازش و زمان اتمام کار نشان داده می‌شود. در آخر نیز، بهترین توالی عملیات را در شکلی جداگانه می‌توان مشاهده کرد. در اینجا بهترین توالی و ترتیب انجام عملیات‌ها دارای حداقل زمان تکمیل کار می باشد. در ادامه، مثالی با تعداد ماشین برابر سه (m=3)، تعداد کارها برابر سه (n=3) و وزن کارها به‌ترتیب ۱، ۲ و ۳ (w= [1 2 3]) آمده و نتایج به‌دست آمده نیز

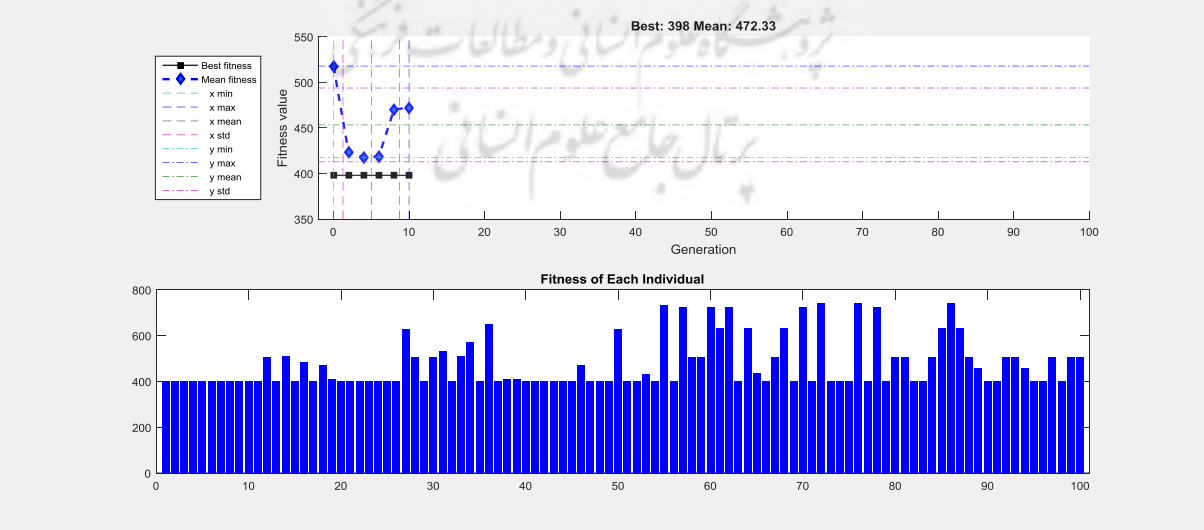
در قالب نمودار و جدول نشان داده شده است. نتایج بسته به نوع انتخاب والدین در مدل مسئله به سه روش انتخاب برتر، انتخاب مسابقه‌ای (تورنمنتی) و انتخاب چرخ رولت گزارش شده است.

- نمودارهای مربوط به انتخاب والدین به روش تورنمنتی

در هر دو نمودار (۱) و (۲) نقاط لوزی بیانگر مقدار برازندگی هر نسل تا شرط توقف (بعد از ۱۰ نسل) می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود بهترین مقدار برازندگی ۳۹۸ و میانگین مقدار برازندگی ۴۷۲/۳۳ می‌باشد. خطوط آماری بریده شده تحلیل آماری از مقادیر ماکزیمم، مینیمم، میانگین و انحراف معیار برازندگی و نسل‌ها را به‌ترتیب در دو محور عمودی (x) و افقی (y) نشان می‌دهد. نمودارهای (۵-۱) و (۵-۲) به‌ترتیب تحلیل آماری نتایج را برای بهترین مقدار برازندگی و میانگین برازندگی به تصویر کشیده است. در ادامه، تمام نتایج مربوط به تحلیل آماری در جدولی جداگانه خلاصه شده است.



نمودار شماره (۱): نشانگر مقدار برازندگی نسل‌ها در روش انتخاب تورنمنتی به‌همراه خطوط تحلیل آماری نتایج در بهترین برازندگی



نمودار شماره (۲): نشانگر مقدار برازندگی نسل‌ها در روش انتخاب تورنمنتی به‌همراه خطوط تحلیل آماری نتایج در میانگین برازندگی

- جداول مربوط به انتخاب والدین به روش انتخاب تورنمتی

در جدول (۱) ترتیب توالی کارها برای پردازش روی ماشین‌ها با زمان‌های پردازش، راه‌اندازی و تکمیل کار مشاهده می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود ابتدا کار شماره ۲ روی ماشین شماره ۱ (سطر اول)، سپس کار شماره ۳ روی ماشین شماره ۳ و ... پردازش شده است. این بدان معناست که کار شماره ۳ روی ماشین شماره ۳ در حال پردازش است؛ یعنی در حال انجام عملیات ۹ هستیم. در نهایت بهترین توالی ترتیب انجام عملیات‌ها با در نظر گرفتن بهترین مقدار برازندگی و میانگین برازندگی در شکل (۳) آمده است. شکل (۳) بیانگر این است که بهترین توالی انجام عملیات‌ها در روش تورنمنتی بدین صورت است که ابتدا عملیات شماره ۴، سپس عملیات شماره ۹ و به همین ترتیبی که نشان داده ۲، ۶، ۵، ۱، ۷، ۸ و ۳ پردازش شده‌اند. جدول (۲) تحلیل آماری مقادیر برازندگی در روش تورنمنتی را نشان می‌دهد که شامل مقادیر مینیمم، ماکزیمم، میانگین، میانه، نما، انحراف معیار و دامنه تغییرات دو محور عمودی (x تعداد نسل‌ها) و افقی (y، مقدار برازندگی) است. مقادیر در این جدول برای بهترین مقدار برازندگی، میانگین برازندگی و همه نسل‌ها می‌باشد.

جدول شماره (۱): اطلاعات زمانی عملیات‌ها در روش تورنمنتی

M (شماره ماشین)	J (شماره کار)	P (زمان پردازش)	t_S (زمان راه‌اندازی)	t_E (زمان اتمام کار)
۱	۲	۹۲	۰	۹۲
۳	۳	۹۶	۰	۹۶
۲	۱	۹۱	۰	۹۱
۳	۲	۱۰	۹۶	۱۰۶
۱	۱	۸۲	۹۲	۱۷۴
۲	۳	۵۵	۹۶	۱۵۱
۲	۲	۶۴	۱۵۱	۲۱۵
۱	۳	۲۸	۱۷۴	۲۰۲
۳	۱	۱۳	۱۷۴	۱۸۷

جدول شماره (۲): تحلیل آماری مقادیر برازندگی در روش تورنمنتی

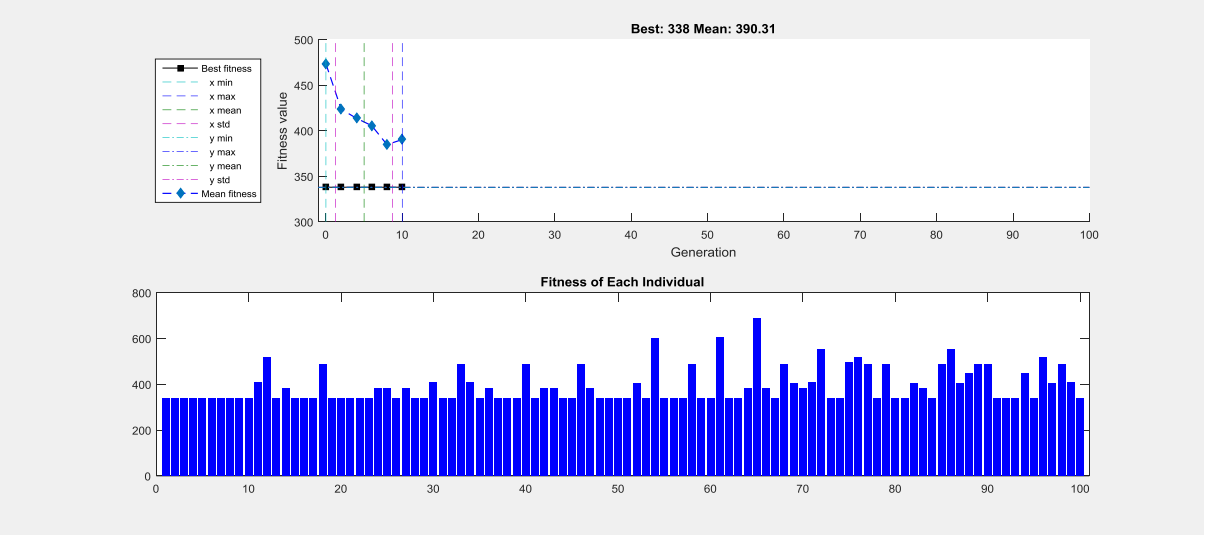
	بهترین مقدار برازندگی		میانگین مقدار برازندگی		تمامی نسل‌ها	
	X	y	x	y	X	Y
مینیمم	۰	۳۹۸	۰	۴۱۷/۸	۱	۳۹۸
ماکزیمم	۱۰	۳۹۸	۱۰	۵۱۷/۸	۱۰۰	۷۳۹
میانگین	۵	۳۹۸	۵	۴۵۳/۳	۵۰/۵	۴۷۲/۳
میانه	۵	۳۹۸	۵	۴۴۶/۵	۵۰/۵	۳۹۸
نما	۰	۳۹۸	۰	۴۱۷/۸	۱	۳۹۸
انحراف معیار	۳/۷۴۲	۰	۳/۷۴۲	۴۰/۴۸	۲۹/۰۱	۱۰۷/۵
دامنه	۱۰	۰	۱۰	۱۰۰/۱	۹۹	۳۴۱

۴	۹	۲	۶	۵	۱	۷	۸	۳

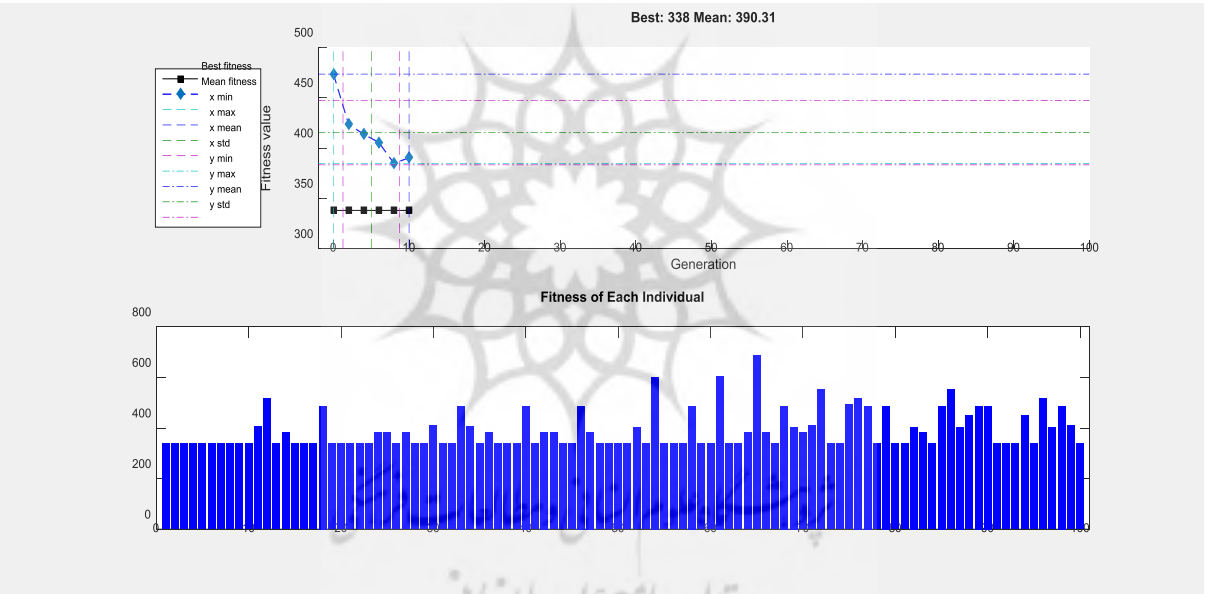
شکل شماره (۳): بهترین توالی عملیات در روش تورنمنتی

- نمودارهای مربوط به انتخاب والدین به روش چرخ رولت

نمودارهای (۳) و (۴) گویای این مهم بوده که بهترین مقدار برازندگی ۳۳۸ و میانگین مقدار برازندگی ۳۹۰/۳۱ می‌باشد.



نمودار شماره (۳): نشانگر مقدار برازندگی نسل‌ها در روش چرخ رولت به‌همراه خطوط تحلیل آماری نتایج در بهترین برازندگی



نمودار شماره (۴): نشانگر مقدار برازندگی نسل‌ها در چرخ رولت به‌همراه خطوط تحلیل آماری نتایج در میانگین برازندگی

- جداول مربوط به انتخاب والدین به روش چرخ رولت

جدول (۳) ترتیب توالی کارها برای پردازش روی ماشین‌ها با زمان‌های پردازش، راه‌اندازی و تکمیل کار را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که ابتدا کار شماره ۳ روی ماشین شماره ۲ (سطر اول)، سپس کار شماره ۲ روی ماشین شماره ۱ و ... پردازش می‌شود. این بدان معناست که کار شماره ۳ روی ماشین شماره ۲ در حال پردازش است؛ یعنی در حال انجام عملیات ۶ می‌باشد. در نهایت، بهترین توالی ترتیب انجام عملیات‌ها با در نظر گرفتن بهترین مقدار برازندگی و میانگین برازندگی در شکل (۴) آمده است. شکل (۴) بیانگر این است که بهترین توالی انجام عملیات‌ها در روش چرخ رولت بدین صورت است که ابتدا عملیات شماره ۸، سپس عملیات شماره ۲ و به همین ترتیبی که در شکل (۴) نشان داده ۴، ۶، ۳، ۱، ۵، ۹ و ۷ پردازش شده‌اند. جدول (۴) تحلیل آماری مقادیر برازندگی در روش چرخ رولت را نشان می‌دهد که شامل مقادیر مینیمم، ماکزیمم، میانگین، میانه، نما، انحراف معیار و دامنه تغییرات دو محور عمودی (x، تعداد نسل‌ها) و افقی (y، مقدار برازندگی) است. مقادیر در این جدول برای بهترین مقدار برازندگی، میانگین برازندگی و همه نسل‌ها می‌باشد.

جدول شماره (۳): اطلاعات زمانی عملیات‌ها در روش چرخ رولت

M	J	P	t_S	t_E
(شماره ماشین)	(شماره کار)	(زمان پردازش)	(زمان راه‌اندازی)	(زمان اتمام کار)

۶۲	۰	۶۲	۳	۲
۹۳	۰	۹۳	۲	۱
۳۸	۰	۳۸	۱	۳
۱۲۳	۶۲	۶۱	۱	۲
۱۹۳	۹۳	۱۰۰	۲	۳
۱۶۰	۹۳	۶۷	۳	۱
۱۹۲	۱۶۰	۳۲	۱	۱
۱۹۹	۱۹۳	۶	۲	۲
۲۰۸	۱۹۳	۱۵	۳	۳

شکل شماره(۴): بهترین توالی عملیات در روش چرخ رولت

۶	۴	۲	۹	۵	۷	۸	۱	۳

شکل شماره (۵): بهترین توالی عملیات در روش انتخاب برتر

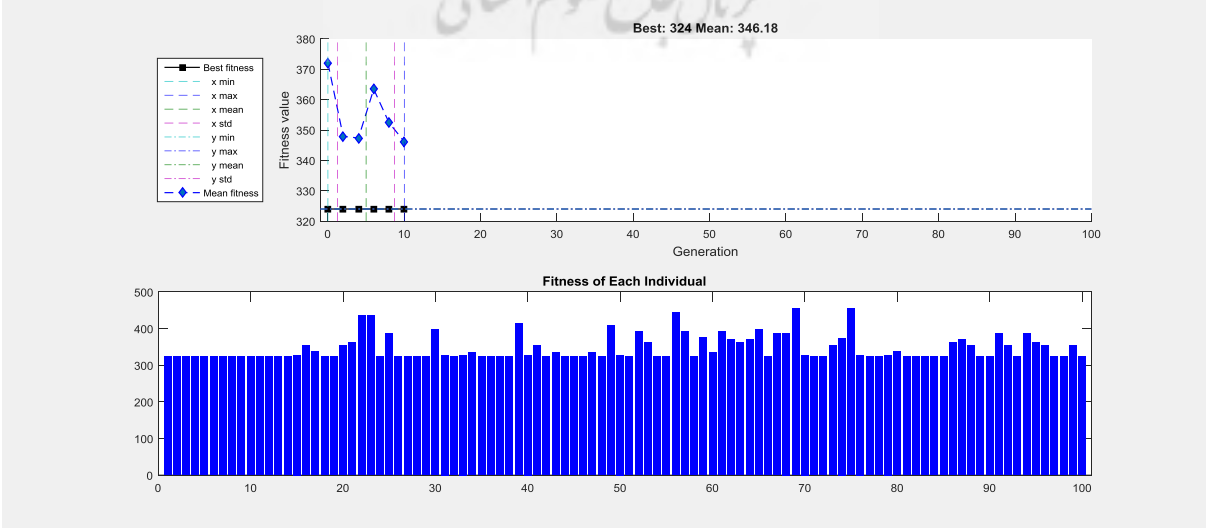
۶	۴	۲	۹	۵	۷	۸	۱	۳

جدول شماره (۴): تحلیل آماری مقدیر برازندگی در روش چرخ رولت

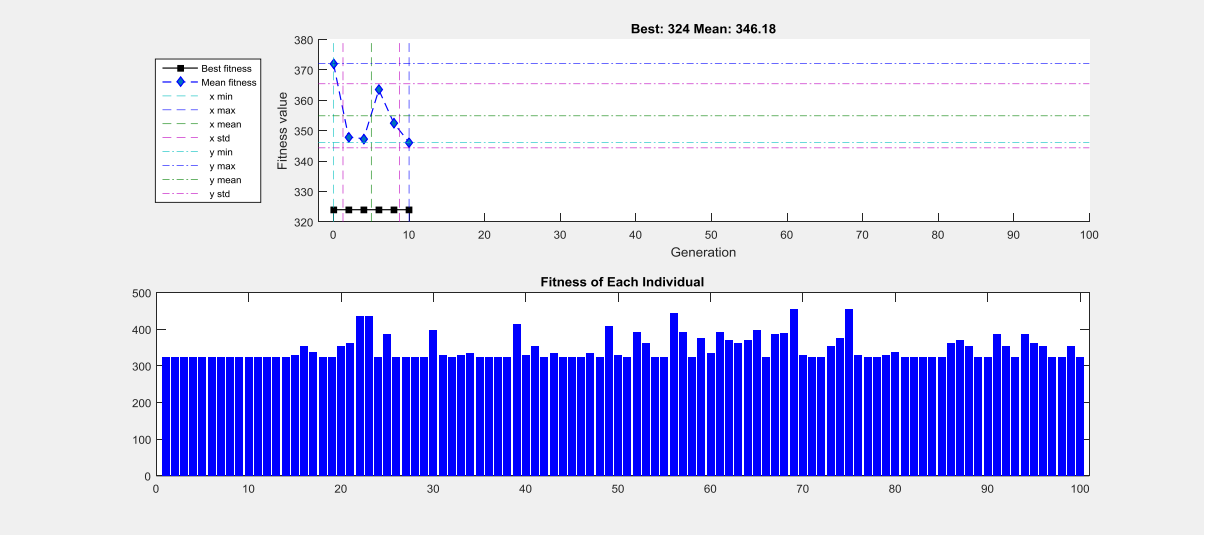
	تمامی نسل‌ها		میانگین مقدار برازندگی		بهترین مقدار برازندگی	
	Y	X	y	x	Y	x
مینیمم	۳۲۴	۱	۳۴۶/۲	۰	۳۲۴	۰
ماکزیمم	۴۵۵	۱۰۰	۳۷۲/۱	۱۰	۳۲۴	۱۰
میانگین	۳۴۶۰۲	۵۰/۵	۳۵۴/۹	۵	۳۲۴	۵
میانه	۳۲۴	۵۰/۵	۳۵۰/۲	۵	۳۲۴	۵
نما	۳۲۴	۱	۳۴۶/۲	۰	۳۲۴	۰
انحراف معیار	۳۳/۵	۲۹/۰۱	۱۰/۵۴	۳/۷۴۲	۰	۳/۷۴۲
دامنه	۱۳۱	۹۹	۲۵/۸۹	۱۰	۰	۱۰

- نمودارهای مربوط به انتخاب والدین به روش انتخاب برتر

همان طور که در نمودارهای (۵) و (۶) مشاهده می‌شود بهترین مقدار برازندگی ۳۲۴ و میانگین مقدار برازندگی ۳۴۶/۱۸ می‌باشد.



نمودار شماره (۵): نشانگر مقدار برازندگی نسل‌ها در روش انتخاب برتر به‌همراه خطوط تحلیل آماری نتایج در بهترین برازندگی



نمودار شماره (۶) نشانگر مقدار برازندگی نسل‌ها در روش انتخاب برتر به‌همراه خطوط تحلیل آماری نتایج در میانگین برازندگی

- جداول مربوط به انتخاب والدین به صورت مسابقه‌ای (تورنمنتی)

در جدول (۵) ترتیب توالی کارها برای پردازش روی ماشین‌ها با زمان‌های پردازش، راه‌اندازی و تکمیل کار مشاهده می‌شود. همان طور که ملاحظه می‌شود ابتدا کار شماره ۱ روی ماشین شماره ۳ (سطر اول)، سپس کار شماره ۳ روی ماشین شماره ۲ و ... پردازش شده است. این بدان معناست که کار شماره ۳ روی ماشین شماره ۲ در حال پردازش است؛ یعنی در حال انجام عملیات ۶ هستیم. در نهایت بهترین توالی ترتیب انجام عملیات‌ها با در نظر گرفتن بهترین مقدار برازندگی و میانگین برازندگی در شکل (۵) آمده است. شکل (۵) بیانگر این است که بهترین توالی انجام عملیات‌ها در روش انتخاب برتر بدین صورت است که ابتدا عملیات شماره ۳، سپس عملیات شماره ۱ و به همین ترتیبی که در شکل (۵) نشان داده ۸، ۷، ۵، ۹، ۲، ۴ و ۶ پردازش شده‌اند. جدول (۶) تحلیل آماری مقادیر برازندگی در روش انتخاب برتر را نشان می‌دهد که شامل مقادیر مینیمم، ماکزیمم، میانگین، میانه، نما، انحراف معیار و دامنه تغییرات دو محور عمودی (x، تعداد نسل‌ها) و افقی (y، مقدار برازندگی) است. مقادیر در این جدول برای بهترین مقدار برازندگی، میانگین برازندگی و همه نسل‌ها می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده با سه روش انتخاب والدین با تعداد کار (n=3) تعداد ماشین (m=3)، اهمیت کارها (w=[1 2 3])، تعداد جمعیت (Pop = 100) و تعداد نسل‌ها (Gen = 100) نشان داد که روش انتخاب برتر با میانگین برازندگی (۳۴۶/۱۸) و بهترین برازندگی (۳۲۴)، روش

جدول شماره (۵): اطلاعات زمانی عملیات ها در روش تورنمنتی

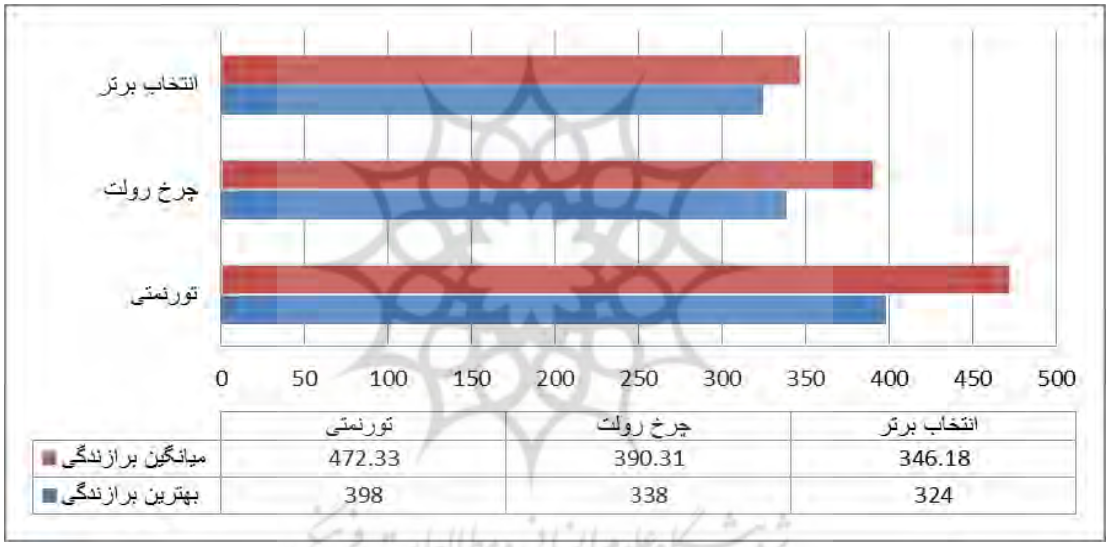
	بهترین مقدار برازندگی		میانگین مقدار برازندگی		تمامی نسل‌ها	
	x	y	x	y	X	Y
مینیمم	۰	۳۳۸	۰	۳۸۴/۸	۱	۳۳۸
ماکزیمم	۱۰	۳۳۸	۱۰	۴۷۳/۴	۱۰۰	۶۸۷
میانگین	۵	۳۳۸	۵	۴۱۵/۲	۵۰/۵	۳۹۰/۳
میانه	۵	۳۳۸	۵	۴۰۹/۵	۵۰/۵	۳۳۸
نما	۰	۳۳۸	۰	۳۸۴/۸	۱	۳۳۸
انحراف معیار	۳/۷۴۲	۰	۳/۷۴۲	۳۱/۹۴	۲۹/۰۱	۷۵/۴۸
دامنه	۱۰	۰	۱۰	۸۸/۶۴	۹۹	۳۴۹

جدول شماره (۶): تحلیل آماری مقادیر برازندگی در روش انتخاب برتر

M (شماره ماشین)	J (شماره کار)	P (زمان پردازش)	t_S (زمان راه‌اندازی)	t_E (زمان اتمام کار)
۳	۱	۸۱	۰	۸۱
۲	۳	۸	۰	۸

۱	۲	۲۲	۰	۲۲
۱	۱	۱۷	۸۱	۹۸
۲	۲	۳۳	۲۲	۵۵
۳	۳	۵۱	۸۱	۱۳۲
۱	۳	۳۶	۱۳۲	۱۶۸
۲	۱	۳۳	۹۸	۱۳۱
۳	۲	۴۷	۱۳۲	۱۷۹

چرخ رولت با میانگین برازندگی (۳۹۰/۳۱) و بهترین مقدار برازندگی (۳۳۸)، و روش تورنمتی با میانگین برازندگی (۴۷۲/۳۳) و بهترین مقدار برازندگی (۳۹۸) می‌باشد. مقایسه این داده‌ها حاکی از آن است که روش انتخاب برتر حداقل زمان اتمام کار (C_{max}) را داشته و روش مطلوب این تحقیق می‌باشد. پس از آن، روش چرخ رولت و در آخر روش تورنمتی قرار دارد. نمودار (۷) نتایج این سه روش را ترسیم کرده است.



نمود شماره (۷): مقایسه مقادیر برازندگی در سه روش انتخاب در مسئله‌ای با ابعاد ۳×۳

تحقیق حاضر بر پایه مدل‌سازی و کدبندی مسئله زمان‌بندی برای یافتن توالی با حداقل زمان تکمیل کار به سه روش انتخاب متفاوت در الگوریتم ژنتیک طراحی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم ژنتیک قادر به ارائه راه حل برای مسائل زمان‌بندی کارگاه باز می‌باشد. به‌علاوه، روش انتخاب برتر در الگوریتم ژنتیک با داشتن حداقل برازندگی، به‌خصوص در مسائلی که تعداد کارها و ماشین‌ها برابر بوده و کارها از اهمیت یکسانی برخوردار باشند، روشی مناسب و بسیار سودمند می‌باشد و در مقایسه با دو روش دیگر، انتخاب تورنمتی و چرخ رولت، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. در مقایسه‌ی نتایج این پژوهش با مطالعات قبلی می‌توان اضافه کرد که چنگ و شخلویچ (۲۰۰۵) یک مسئله زمان‌بندی کارگاه باز را با تابع تفکیک‌پذیر غیرکاهشی به‌کمک چند قضیه حل کرده و ثابت کردند که مسئله کارگاه باز با الگوریتم چندجمله‌ای قابل حل می‌باشد. ما در این تحقیق نشان دادیم که همین مسئله با استفاده از الگوریتم فرابتکاری ژنتیک راحت‌تر و سریع‌تر به راه حل می‌رسد. البته می‌توان این مسئله را در الگوهای مختلف محیطی و شرایط متفاوت مسئله نیز حل کرد. در مقایسه با تحقیقی که محمدی (۲۰۱۵) انجام داد، این تحقیق با رد بحث کاربرد الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل زمان‌بندی همسو می‌باشد؛ زیرا وی موفق به حل یک مسئله جریان کارگاهی با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری مانند LPT، SPT، EDD و NEH شد.

٤- منابع

1. Adiri, I. (1989). Open-shop scheduling problems with dominated machines. Naval Research Logistics, 36(3), 273-281.

2. Alam-Tabriz, A., & Mohmmadrahimi A. (2013). Meta-heuristic algorithms in combinatorial optimization. Tehran: Safar Publication.
3. Alharkan, I. M. (2005). Algorithms for sequencing and scheduling. King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.
4. Baker, K. R. (1995). Elements of sequencing and scheduling. New York: Wiley.
5. Cheng, T. E., & Shakhlevich, N. V. (2005). Minimizing non-decreasing separable objective functions for the unit-time open shop scheduling problem. European Journal of Operational Research, 165(2), 444-456.
6. Conway, R. W., Maxwell, W. L., & Miller, L. W. (2012). Theory of scheduling. New York: Dover Publications, Incs.
7. Deb, K. (1995). Optimization for engineering design: algorithms and examples. New Delhi: Prentice Hall.
8. Fang, H. L. (1994). Genetic algorithms in timetabling and scheduling (Doctoral dissertation). University of Edinburgh, Scotland.
9. França, P. M., Gupta, J. N., Mendes, A. S., Moscato, P., Veltink, K. J. (2005). Evolutionary algorithms for scheduling a flowshop manufacturing cell with sequence dependent family setups. Computers & Industrial Engineering, 48(3), 491-506.
10. Karuno, Y., & Nagamochi, H. (2004). An approximability result of the multi-vehicle scheduling problem on a path with release and handling times. Theoretical Computer Science, 312(2), 267-280.
11. Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G., & Shmoys, D. B. (1993). Sequencing and scheduling: algorithms and complexity. P27-130, In: Graves, S.C., A.H.G. Rinnooy Kan and P.H. Zipkin (eds.), Handbooks in operations research and management science. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
12. Lee, C.-Y., and Herrmann, J. W. (1993). A Three-Machine Scheduling Problem with Look-Behind Characteristics. Research Reports, 93-11.
13. Mohammadi, G. (2015). Multi-objective flow shop production scheduling via robust genetic algorithms optimization technique. International Journal of Service Science, Management and Engineering, 2(1), 1-8.
14. Mohammadi, G. (2011). Metaheuristic algorithms. Kerman: Jahad Daneshgahi Publication.
15. Morton, T., & Pentico, D. W. (1993). Heuristic scheduling systems: with applications to production systems and project management. New York: John Wiley & Sons.
16. Pinedo, M. L. (2008). Scheduling: theory, algorithms and systems. New York: Springer.
17. Seraj, O., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). A tabu search method for a new bi-objective open shop scheduling problem by a fuzzy multi-objective decision making approach (research note). International Journal of Engineering-Transactions B: Applications, 22(3), 1-14.
18. Zobolas, G. I., Tarantilis, C. D., & Ioannou, G. (2009). Solving the open shop scheduling problem via a hybrid genetic-variable neighborhood search algorithm. Cybernetics and Systems, 40(4), 259-285.