

زمانبندی وسایل نقلیه هدایت شونده خودکار چندگانه در محیط کارگاهی مختلط با در نظر گرفتن پایایی سیستم

*هدی محمودی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران
(hoda_19m@yahoo.com)

دکتر محمد سعیدی مهرآباد

استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، قزوین، ایران
(mehrabad@qiau.ac.ir)

چکیده

در این تحقیق مساله کار کارگاهی انعطاف پذیر با وسایل حمل هدایت شونده چند گانه (Multiple AGV) با در نظر گرفتن سیاست های نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته شده است. هدف از این مطالعه، برنامه ریزی صحیح کارها و وسایل حمل و نقل چندگانه با هدف برآورده ساختن حداقل قابلیت اطمینان سیستم می باشد. با توجه به NP-Hard بودن مساله، جهت حل مساله دو الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی تجمع ذرات پیشنهاد شده است و پارامترهای هر یک از الگوریتم های پیشنهاد شده توسط رویکرد تاگوچی تنظیم گشته است. نتایج محاسباتی نشان دهنده کارایی و عملکرد بهتر الگوریتم ژنتیک در مقایسه با الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات از لحاظ کیفیت جوابهای بدست آمده و زمان محاسباتی می باشد.

واژگان کلیدی: زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر، وسایل حمل خودکار هدایت شونده چندگانه، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه،

الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات، رویکرد تاگوچی.

۱- مقدمه

امروزه کارخانه‌های تولیدی با توجه به نقش تولید در بازار رقابتی، خود را در محیطی کاملاً تغییر یافته با گذشت زمان می‌بینند. با افزایش تنوع تقاضای مشتریان، افزایش درک و آگاهی عمومی مشتریان نسبت به شرایط بازار، تغییر الگوهای هزینه‌ای، تغییر انتظارات اجتماعی و ... در بازارهای رقابتی، شرکت‌های تولیدی سعی در تغییر استراتژی خود و نیز استفاده از تکنولوژی جدید در گسترش سرعت تولید و افزایش سطح خدمت خود به مشتری دارند. وسایل حمل خودکار هدایت شونده (AGV) یکی از این تجهیزات هستند که هزینه‌ی ساخت و تولید را کاهش و کارایی سیستم را افزایش می‌دهند. در سیستم‌های ساخت و تولید مدرن سیستم‌های AGV تبدیل به یک عضو جدایی ناپذیر شده‌اند. وسیله نقلیه خودکار هدایت شونده، وسایل حمل پیشرفته‌ای هستند که جهت حمل مواد و کالا در مسیر افقی بین ایستگاهها و انبارهای یک سیستم ساخت و تولید اتوماتیک به کار می‌روند. AGV ها حداقل شامل یک وسیله نقلیه بی سرنشین می‌باشند. هر وسیله در مسیر از پیش تعیین شده‌ای حرکت می‌کند و آن مسیر می‌تواند با توجه به نیاز و تقاضای تغییر کند. بنابراین یک سیستم AGV نسبت به سایر سیستم‌های حمل مرسوم انعطاف‌پذیری و ظرفیت بیشتری دارد و نقش مهمی در سیستم‌های تولید منعطف ایفا می‌کند. زمانبندی کار و مؤثر سیستم حمل مواد برای کارایی کل سیستم مهم و حیاتی می‌باشد. یکپارچگی سیستم حمل مواد با فعالیت‌های ساخت و تولید می‌تواند منجر به ایجاد سیستم‌هایی با انعطاف‌پذیری، بهره‌وری بالا و هزینه‌ی کم واحد محصول شود. یقیناً مسائلی که بهینه‌سازی زمانبندی ماشین‌آلات و وسایل حمل را به طور همزمان در نظر می‌گیرند، کاربردی‌تر می‌باشند. بنابراین این دو فاکتور باید به طور همزمان در نظر گرفته شوند. شناخت وضعیت ماشین‌های اتوماتیک از جنبه‌های مختلف مؤثر بر دپارتمان‌ت، به عنوان یک نیاز اولیه و مقدماتی به منظور تعیین عمق و محدوده برنامه ریزی استراتژیک نت ضروری است.

۲- پیشینه تحقیق

وسایل حمل خودکار هدایت شونده سیستم‌های حمل مواد بی سرنشین هستند که برای جابجایی افقی مواد به کار می‌روند. AGVها اولین بار در سال ۱۹۵۵ معرفی شدند و بیش از ۲۰۰۰ نوع AGV در صنعت در حمل و نقل، انبارها و مراکز انبار عبوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. (گوتینگ ۲۰۰۰، مولر ۱۹۸۳). اولین مطالعه‌ی زمانبندی با در نظر گرفتن فاکتور حمل و نقل در سال ۱۹۸۰ توسط ماگو و داس انجام شده است. آنها مسأله جریان کارگاهی دو ماشین با هدف حداکثر زمان تکمیل کارها و فضای صف نامحدود روی هر ماشین را در نظر گرفتند، که در آن تعداد مناسبی انتقال دهنده وجود داشت به طوریکه هرگاه یک کار روی ماشین اول به اتمام می‌رسد بلافاصله با زمان انتقال وابسته به کار، به ماشین دوم انتقال می‌یابد. کیس (۱۹۹۱) مسأله مشابهی را با تنها یک وسیله حمل با ظرفیت حمل یک واحد در نظر گرفت و نشان داد مسأله حتی با در نظر گرفتن زمان حمل مستقل از کار NP-Hard می‌باشد.

صابونچی اغلو و همارتیزیم (۱۹۸۹)، تأثیر تعداد کارها بر عملکرد یک سیستم ساخت و تولید انعطاف پذیر (FMS^۲) را بررسی نموده و عملکرد نسبی ماشین های مختلف و قوانین زمانبندی وسایل حمل خودکار هدایت شونده (AGV) را بر معیار میانگین زمان در جریان آزمودند. آنها به این نتیجه دست یافتند که نرخ بهره برداری بالای ماشین ها و AGV ها با زمانبندی مؤثر به طور قابل ملاحظه ای عملکرد سیستم را تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین نه تنها ماشین ها بلکه AGV ها نیز باید به طور مؤثر زمانبندی شوند. آیزد^۳ (۲۰۰۹)، به مدلسازی و ماکزیمم سازی عملکرد یک سیستم AGV یکپارچه که در سیستم های ساخت و تولید چند محصولی کشتی، چند مرحله ای و چند خطی انعطاف پذیر (FMS) تعبیه شده است، پرداخته است. او اثر انعطاف پذیری مسیر راهنما در عملکرد سیستم را از طریق توسعه ی سه شکل مختلف مسیر راهنما بررسی کرد. سو^۴ (۲۰۱۰)، طراحی جدیدی برای سیستم AGV دو مسیره پیشنهاد داد که در آن دو AGV می توانند بار، وظایف حمل زمانبندی شده و حتی تعداد وسایل نقلیه شان را زمانیکه در دو جهت مخالف حرکت می کنند، تعویض نمایند. در این سیستم های AGV تعویض پذیر، مشکلات رایج نظیر تعارض و بن بست رخ نمی دهد و بار یک AGV همیشه در کوتاهترین مسیر خود حمل می شود، که منجر به عملکرد بالای سیستم می شود و از زمانهای انتظار غیرضروری و انحراف جلوگیری می کند. نیشی و همکاران (۲۰۱۱)، الگوریتم دوسطحی ترکیبی را جهت حل مسأله همزمان زمانبندی و مسیریابی برای وسایل حمل خودکار هدایت شونده با هدف مینیمم سازی مجموع وزنی دیرکردهای مجموعه کارها پیشنهاد نمودند. فضل الله تبار و همکاران (۲۰۱۲)، بکارگیری وسایل حمل خودکار هدایت شونده چند ردیفه^۵ به عنوان وسایل حمل مواد و بهینه سازی زمان تولید با در نظر گرفتن پارامترهای زمان مؤثر در یک سیستم ساخت و تولید اتوماتیک انعطاف پذیر (FAMS)^۱ با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو^۷ را مورد بررسی قرار دادند. فضل الله تبار و مهدوی امیری (۲۰۱۳)، مسأله تحلیل رفتار تولید کننده در سیستم ساخت و تولید کار کارگاهی انعطاف پذیر مجهز به سیستم AGV، به صورت دوهدفه غیرقطعی با سیستم خیره را مورد بررسی قرار دادند. هدف رسیدن به مسیر بهینه در سیستم با دو معیار زمان و هزینه بوده است. فضل الله تبار و سعیدی مهرآباد (۲۰۱۳)، یک مدل ریاضی جهت ارزیابی پایایی ماشین ها و AGV ها در سیستم FMS توسعه دادند. مدل دو جنبه سیستم های ساخت انعطاف پذیر مجهز به AGV را در نظر گرفته است. به عنوان مثال پایایی ماشین ها و پایایی AGV ها در یک سیستم تولید کار کارگاهی با چند AGV در نظر گرفته شده است. هدف مدل پیشنهادی ماکزیمم سازی پایایی کل ماشین ها در کارگاه ها در کل سیستم، ماکزیمم سازی پایایی کل AGV ها و مینیمم سازی کل هزینه تعمیر در سیستم می باشد. فضل الله تبار و جلالی نیانی (۲۰۱۳)، به ارائه یک مدل مارکوفین برای مسأله سیستم های ساخت و تولید انعطاف پذیر مجهز به سیستم AGV پرداختند که دو جنبه ی قابلیت اطمینان ماشین آلات و قابلیت اطمینان سیستم AGV را مورد بررسی قرار می داد. فضل الله تبار و همکاران (۲۰۱۵)، رویکرد شبکه عصبی گسترش رو به عقب و مارکوفین یکپارچه را جهت محاسبه پایایی سیستم به کار بردند. همچنین کاربرد وسایل خودکار هدایت شونده چندگانه (AGV) در شبکه ساخت و تولید

^۲Flexible Manufacturing System

^۳ Aized

^۴ Hsueh

^۵ Tandem

^۶ Flexible Automated Manufacturing System

^۷ Monte Carlo Simulation

بررسی شده است. فضل الله تبار و سعیدی مهرآباد (۲۰۱۵) حوزه های مطالعات مختلف AGV را مورد بررسی قرار دادند . تفاوت عمده ی بین حوزه های کاربردی گذشته و امروزه در تعداد AGV ها ، تعداد تقاضاهای حمل ، درجه مشغول بودن AGV ها و مسافت حمل و نقل برداشت و تحویل می باشد. در سیستم های ساخت و تولید تعداد کمی AGV با درجه اشتغال نسبتاً اندک جهت حمل تقاضاهای کم در مسافت های کوتاه بین نقاط اندک برداشت و تحویل به کار می روند. برای حمل انبوه پیوسته به جای تعداد زیاد AGV از کانوایر استفاده می شود . (گوتینگ ، ۲۰۰۰) .

۳- تعریف مسأله

هدف از این تحقیق مدلسازی سیاست های نگهداری و تعمیرات وسایل نقلیه هدایت شونده خودکار چندگانه در محیط کار کارگاهی مختلط با در نظر گرفتن پایایی می باشد. مسأله کار کارگاهی یکی از انواع فرآیندهای تولیدی می باشد که در این نوع فرآیند ، ماشین های مختلف در یک کارگاه (سالن تولید) وجود دارند. هر کار ممکن است به برخی یا تمام ماشین ها در یک توالی مشخص مربوط به خود ، نیاز داشته باشد. مسأله کار کارگاهی انعطاف پذیر تعمیم مسأله کار کارگاهی کلاسیک می باشد که در آن یک عملیات می تواند توسط هر یک از ماشین های یک مجموعه پردازش شود. جهت حمل مواد و قطعات و نیمه ساخته ها میان این کارگاه ها از وسایل حمل متفاوتی استفاده می شود، که وسایل حمل خودکار هدایت شونده یکی از آنها می باشد. در سیستم های ساخت و تولید مدرن سیستم های AGV تبدیل به یک عضو جدایی ناپذیر شده اند. وسیله نقلیه خودکار هدایت شونده ، وسایل حمل پیشرفته ای هستند که جهت حمل مواد و کالا در مسیر افقی بین ایستگاه ها و انبار های یک سیستم ساخت و تولید اتوماتیک به کار می روند. AGV ها حداقل شامل یک وسیله نقلیه بی سرنشین می باشند. هر وسیله در مسیر از پیش تعیین شده ای حرکت می کند و آن مسیر می تواند با توجه به نیاز و تقاضا تغییر کند . بنابراین یک سیستم AGV نسبت به سایر سیستم های حمل مرسوم انعطاف پذیری و ظرفیت بیشتری دارد و نقش مهمی در سیستم های تولید منعطف ایفا می کند. وسایل خودکار هدایت شونده AGV هزینه ی ساخت و تولید را کاهش و کارایی سیستم را افزایش می دهد. این تریلرها می توانند جهت حمل مواد خام در خطوط تولید مورد استفاده گیرند.

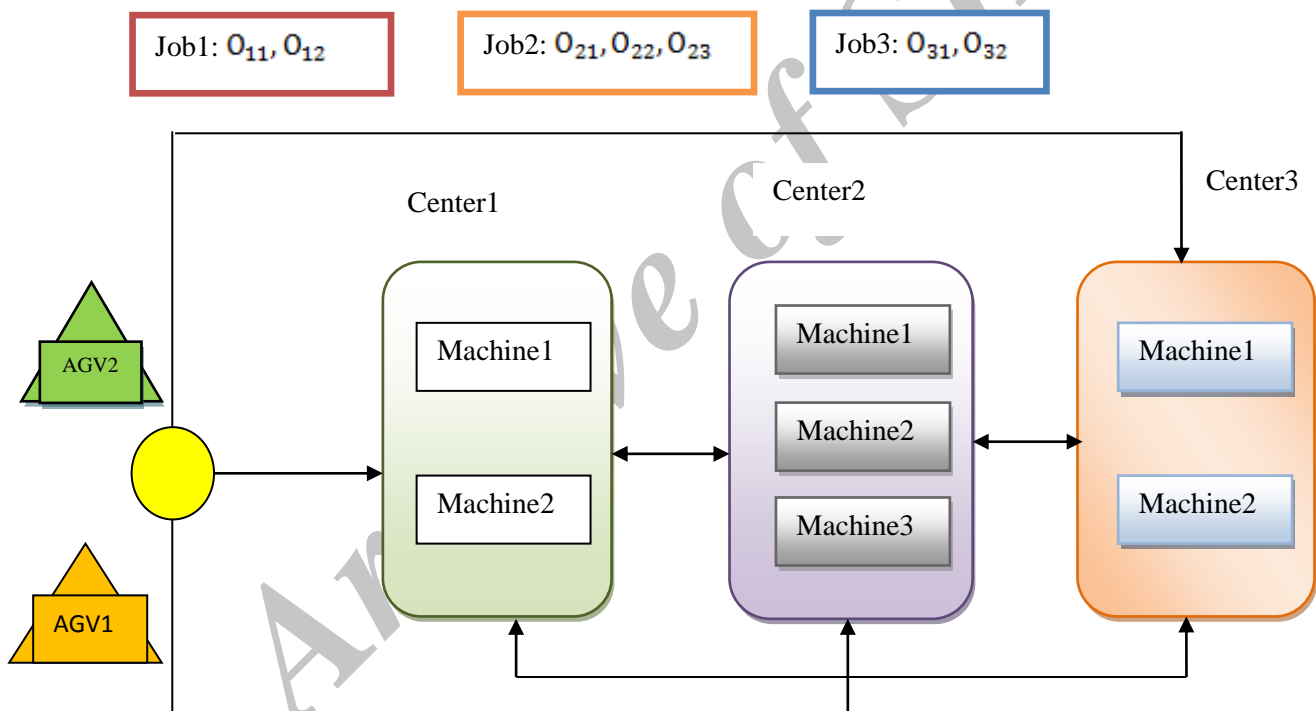
۳-۱- فرضیات مسأله

۱. محیط کار کارگاهی انعطاف پذیر مورد مطالعه مجهز به سیستم AGV چندگانه می باشد.
۲. مسیرهای حرکت (AGV ها) دارای هزینه و پایایی متفاوت می باشند.
۳. وسایل حمل (AGV ها) دارای هزینه و ویژگی های متفاوت می باشند.
۴. فعالیت های نگهداری پیشگیرانه در بازه های زمانی ثابت اجرا می شود. (TFPM)
۵. وقتی که نگهداری پیشگیرانه انجام شد احتمال شکست دوباره ی تجهیزات وجود ندارد.
۶. پیاده سازی استراتژی نگهداری و تعمیرات برای AGV ها.
۷. امکان آنکه هر ماشین در هر مرکز چندین بار مورد بازدید توسط AGV قرار گیرد.

۸. هدف حداقل نمودن جمع وزنی هزینه‌های بکارگیری AGV ها، هزینه نت، هزینه مسیر ، هزینه انتظار و متوسط زمان تکمیل کارها می باشد.

۹. فاصله بین ماشین آلات در مراکز کاری ناچیز در نظر گرفته شده است.

نمایی کلی از مساله در شکل ۱ نمایش داده شده است. مساله دارای ۳ کار که هر کدام به ترتیب دارای ۲، ۳ و ۲ عملیات می باشند. جهت حمل وسایل نیم ساخته و ابزار دو سیستم حمل و نقل خودکار هدایت شونده وجود دارد . هدف برنامه ریزی کارها بر روی ماشین آلات و توالی انتقال آنها توسط وسایل حمل و نقل خودکار با برآورده ساختن حداقل پایایی سیستم می باشد به گونه ای که کل هزینه های سیستم حداقل گردد.



شکل ۱. نمایی از فضای حل مساله پیشنهاد شده

۴- روش های حل پیشنهادی

به دلیل وجود پیچیدگی ساختاری مسئله ، باید از روش ها و الگوریتم های فراابتکاری برای حل مسئله استفاده کرد. در روش های ابتکاری و فراابتکاری، کل فضای جواب را جستجو نمی شود بلکه فقط نقاطی از جواب را با هدف بهینه کردن یک معیار مورد بحث و بررسی قرار می دهند. جواب هایی که توسط این روش ها بدست می آیند جواب های نزدیک به جواب بهینه هستند و بر اساس کیفیت الگوریتم امکان دارد این جواب ها برابر جواب های بهینه هم شوند. در این تحقیق الگوریتم ژنتیک^۸

⁸ Genetic algorithm

(GA) و الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات^۹ (PSO) جهت حل مسأله به کار رفته‌اند. در ادامه به تشریح این الگوریتم‌ها می‌پردازیم.

۴-۱- الگوریتم ژنتیک (GA)

• نحوه نمایش جواب

در الگوریتم پیشنهادی هر کروموزوم از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول در ارتباط با قرارگیری عملیات بر روی ماشین‌های موجود در ایستگاه‌ها بوده و در بخش دوم مسیر وسایل حمل را تعیین می‌گردد. در ادامه هر یک از بخش‌های کروموزوم به تفصیل شرح داده می‌شود.

بخش اول:

این بخش از یک ماتریس سه بعدی با ابعاد (J^*M^*S) تشکیل شده است. هر درایه از این ماتریس به یک عملیات، یک ماشین و یک ایستگاه تعلق دارد. مقادیر این درایه‌ها با اعداد حقیقی در بازه $[0,1]$ تعیین می‌گردد که نشان‌دهنده نحوه تخصیص هر عملیات به ماشین در ایستگاه می‌باشد. بدین صورت که برای هر عملیات درایه‌ای که بالاترین مقدار را دارد تعیین‌کننده ماشین و ایستگاه مورد نظر جهت انجام عملیات مربوطه می‌باشد. بدین ترتیب تمام عملیات‌ها به ماشین و ایستگاه‌ها تخصیص می‌یابند.

بخش دوم:

این بخش از الگوریتم مسیرهی وسایل حمل، جهت حمل الزامات هر یک از عملیات‌ها مشخص می‌گردد. این بخش از یک ماتریس با ابعاد (J^*V) با درایه‌های اعداد حقیقی در بازه $[0,1]$ ایجاد شده است. درایه‌های این بخش در درجه اول تعیین می‌نماید که کدام عملیات‌ها توسط هر یک از وسایل حمل جهت ارسال الزامات به ماشین مربوطه مورد استفاده قرار گیرد. این بخش همچنین تعیین می‌نماید الزامات عملیات با چه ترتیبی به ماشین‌های مربوطه انتقال یابند. برای درک بهتر یک نمونه با دو کار هر یک با دو عملیات، دو ایستگاه هر یک شامل دو ماشین را در نظر بگیرید. شکل ۲، یک کروموزوم نمونه برای مسأله مورد نظر را نمایش می‌دهد.

بر اساس تعریف کروموزوم در نمونه فوق عملیات ۱ و ۲ کار اول به ترتیب توسط ماشین ۱ در ایستگاه ۲ و ماشین ۲ در ایستگاه ۱ انجام می‌گیرد. در این تخصیص چنانچه ماشین تعیین شده توانایی انجام عملیات مورد نظر را نداشته باشد از اولویت بعدی استفاده می‌گردد. به عنوان مثال چنانچه ماشین ۱ در ایستگاه ۲ توانایی انجام عملیات اول کار ۱ را نداشته باشد این عملیات را به اولویت بعدی (در این نمونه ماشین ۱ در ایستگاه ۱) اختصاص می‌دهیم. به همین ترتیب سایر عملیات را نیز به ماشین‌ها اختصاص می‌دهیم. نحوه تخصیص به صورت دایره در شکل ۲ مشخص شده است. در بخش دوم کروموزوم در نمونه مورد نظر الزامات عملیات‌های O11، O12، O21 و O22 به ترتیب با وسایل حمل ۱، ۲، ۱ و ۲ حمل می‌شوند. بنابراین وسیله حمل ۱ باید عملیات O11 و O21 را به ماشین‌های تعیین شده در بخش اول کروموزوم برساند. ترتیب ارسال نیز با توجه به مقدار عدد اولویت و درایه مربوطه تعیین می‌گردد. بدین ترتیب

⁹ Particle swarm optimization

وسیله حمل ۱ ابتدا الزامات O21 و سپس O11 را به ماشین‌های مربوطه ارسال می‌نماید. وسیله حمل ۲ نیز به ترتیب الزامات O12 و O22 را ارسال می‌نماید.

بخش اول :

	S1		S2	
	M1	M2	M1	M2
O11	0.81	0.63	0.95	0.48
O12	0.9	0.99	0.96	0.38
O21	0.12	0.27	0.15	0.8
O22	0.91	0.54	0.97	0.14

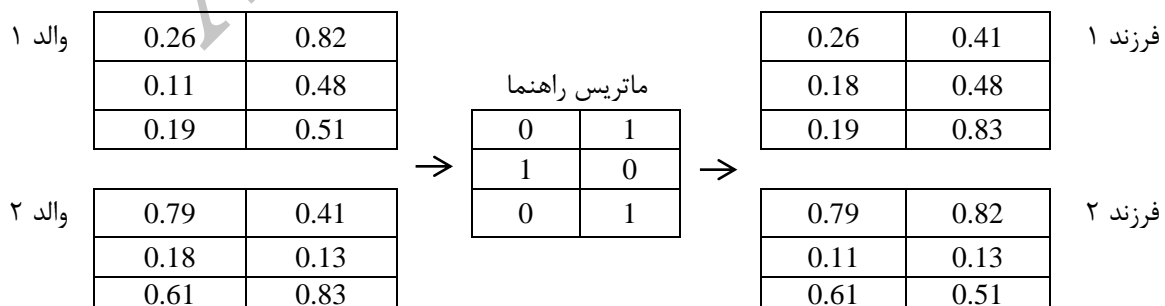
بخش دوم :

	V1	V2
O11	0.42	0.65
O12	0.75	0.03
O21	0.71	0.76
O22	0.39	0.13

شکل ۲. نحوه نمایش کروموزوم

اپراتور تقاطع^{۱۰}

عملگر تقاطع در الگوریتم پیشنهادی به دو صورت می‌باشد. در روش اول یک ماتریس راهنما با ابعادی مساوی با ابعاد هر بخش با درایه‌های باینری به صورت تصادفی تعیین می‌گردد و به ازای مقادیر ۱ ماتریس راهنما درایه‌های متناظر در کروموزوم‌های فرزند جابه‌جا می‌گردد. شکل ۳، نحوه عملکرد این روش‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل ۳. روش اول عملگر تقاطع در الگوریتم پیشنهادی

¹⁰ crossover

در روش دوم تقاطع برای هر درایه در کروموزوم‌های فرزند از نقطه‌ای در بین دو نقطه متناظر در کروموزوم‌های والد استفاده می‌نماییم. در این روش نیز از یک ماتریس راهنما استفاده می‌گردد با این تفاوت که مقادیر این ماتریس اعداد حقیقی در بازه [0,1] هستند که به صورت تصادفی با توزیع یکنواخت تولید می‌گردند. چنانچه a_{11} و b_{11} درایه‌های سطر و ستون اول در کروموزوم والد ۱ و والد ۲ باشد. مقادیر مربوط به این درایه در کروموزوم‌های فرزند به ترتیب از رابطه‌های زیر بدست می‌آید:

$$c_{11} = a_{11} + R_{11} (b_{11} - a_{11})$$

$$d_{11} = b_{11} + R_{11} (a_{11} - b_{11})$$

* R_{11} درایه مربوط به سطر و ستون اول در ماتریس راهنما می‌باشد.



شکل ۴. روش دوم عملگر تقاطع در الگوریتم پیشنهادی

عملگر جهش

برای حفظ پراکندگی جمعیت از این عملگر استفاده می‌گردد که در الگوریتم پیشنهادی برای ایجاد پراکندگی از تولید مجدد کروموزوم استفاده می‌گردد. به این صورت که در صورتیکه یک کروموزوم جهت انجام عملیات جهش انتخاب گردید آن را با یک کروموزوم جدید جایگزین می‌نماییم، که به صورت تصادفی تولید شده است.

۴-۲- الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات (PSO)

الگوریتم بهینه‌سازی ذرات (PSO) از تکنیکهای محاسبات تکاملی است و با تقلید از پرواز پرندگان و تبادل اطلاعات میان آنها ابداع شده است، در PSO هر راه حل تنها یک پرنده در فضای جستجو است و عضو نامیده می‌شود. تمام پرندگان یک مقدار شایستگی دارند که توسط تابع شایستگی که باید بهینه شود ارزیابی می‌گردد. علاوه بر این هر پرنده i دارای یک موقعیت در فضای D بعدی مسئله است که در تکرار t ام، با یک بردار به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$X_i^t = (x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{iD}^t)$$

همچنین این پرنده سرعتی دارد که پروازش را هدایت می‌کند و در تکرار t ام با بردار زیر نشان داده می‌شود:

$$V_i^t = (v^{t i1}, v^{t i2}, \dots, v^{t iD})$$

و این پرده نیز در هر تکرار یک حافظه از بهترین موقعیت قبلی خودش را دارد که با بردار P نشان داده می شود:

$$P_i^t = (p^{t i1}, p^{t i2}, \dots, p^{t iD})$$

در هر تکرار جستجو، هر عضو با در نظر داشتن دو مقدار بهترین به روز رسانی می شود. مورد اول مربوط به بهترین راه حلی است که پرده تا کنون آن را تجربه کرده است. (مقدار شایستگی این بهترین راه حل نیز ذخیره می گردد). این مقدار را بهترین p یا اصطلاحاً P_{best} می نامند. مورد دوم بهترین حلی است که توسط PSO دنبال می شود و بهترین موقعیتی است که تا کنون در جمعیت به دست آمده است. این مقدار بهینه عمومی است و اصطلاحاً G_{best} نامیده می شود. زمانیکه یک عضو، بخشی از جمعیت را به عنوان توپولوژی همسایگانش در نظر می گیرد آنگاه بهترین مقدار، یک بهترین محلی است و L_{best} نامیده می شود. بعد از اینکه دو بهترین مقدار پیدا شدند موقعیت و سرعت هر عضو توسط فرموهای زیر بروز رسانی می گردد:

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1}$$

$$V_i^{t+1} = w \cdot V_i^t + C_1 r_1^t (G_{best} - X_i^t) + C_2 r_2^t (P_{best} - X_i^t)$$

$$W = W_{max} - \frac{W_{max} - W_{min}}{t_{max}} * t$$

۵- نتایج محاسباتی

۵-۱- تولید مسائل نمونه

جهت ارزیابی عملکرد روشهای پیشنهادی ابتدا به ایجاد مسائل نمونه استاندارد می پردازیم که بتوانند تا حد امکان فضای حل را پوشش دهند. بدین منظور سطوح مختلفی برای کارها و ماشینها، تعداد وسایل حمل و سایر پارامترهای مسأله (بهنک و گایگر^{۱۱}، ۲۰۱۲)، در نظر گرفته شده است. حدود ارائه شده برای پارامترها جهت تولید مسائل نمونه به شرح ذیل است:

جدول ۱. سطوح پارامترهای مسائل تولید شده (بهنک و گایگر، ۲۰۱۲)

سطوح				پارامتر
۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	تعداد کار (i)
۲۰	۱۵	۱۰	۵	تعداد کارگاه (s)

¹¹ Behnke & Geiger

۸	۶	۴	۲	تعداد وسایل حمل (v)
۰,۸	۰,۶	۰,۴	۰,۲	وزن معیار اول تابع هدف (α)
$1 - \alpha$				وزن معیار دوم تابع هدف (β)
ثابت و برابر با ۴				تعداد ماشین (m)
ثابت و برابر با ۵				تعداد عملیات (Ni)
Unif (5-20)				زمان بین دو ایستگاه (t)
Unif (20-60)				مدت زمان اجرای نت
Unif (100-200)				هزینه اجرای Pm
Unif (100-400)				هزینه ثابت حمل
Unif (10-20)				هزینه انتظار
Unif (1-10)				وزن بار جهت حمل
Unif (10-30)				مدت زمان پردازش

مطابق فرض در نظر گرفته شده در مرجع به کار رفته، در این مطالعه نیز هر کار از ۵ عملیات تشکیل شده است. همواره عملیات اول در ایستگاه اول، عملیات آخر در ایستگاه آخر مورد پردازش قرار می‌گیرد. بنابراین هدف تعیین ایستگاه مناسب جهت پردازش سایر عملیات می‌باشد، که بدین منظور ۳ عدد تصادفی در بازه $[1-S, 2]$ تولید می‌شود و به ترتیب ایستگاه فعالیت‌های ۲، ۳ و ۴ مشخص می‌شود. به عنوان مثال اگر تعداد کارگاه‌ها برابر با ۱۰ باشد، عملیات اول در کارگاه اول، عملیات نهایی در کارگاه دهم پردازش می‌شود و جهت اجرای سایر عملیات ۳ عدد تصادفی در بازه $(۲,۹)$ تولید می‌شود که شماره ایستگاه مناسب را نمایش می‌دهد.

۵-۲- تنظیم پارامتر های الگوریتم های پیشنهادی

روش های آماری متنوعی برای طراحی آزمایشات مطرح شده است، اما استفاده از رویکرد جامعی مثل آزمایشات عاملی کامل همواره کارایی لازم را ندارند، به این دلیل که با افزایش تعداد عامل‌های مورد بررسی انجام محاسبات پیچیده و فوق العاده زمانبر می‌شود. تاگوچی (۱۹۸۶) دسته‌ای از آزمایشات عاملی کسری را معرفی کرد که بطور قابل توجهی تعداد آزمایشات مورد نیاز جهت بررسی را با حفظ اطلاعات مورد نیاز برای نمایش کاهش می‌دهد. مطابق روش تاگوچی فاکتورها (عامل‌ها) به دو دسته تقسیم می‌شوند: فاکتورهای قابل کنترل و اغتشاشی. با استفاده از این روش عامل‌های اغتشاش بیرون از ارائه متعادل (ارتوگونال) و فاکتورهای قابل کنترل در ارائه داخلی قرار می‌گیرند. هدف روش یافتن سطوح بهینه عامل‌های مهم قابل کنترل و کمینه کردن اثر فاکتورهای اغتشاش است. در این روش ویژگی‌های کیفی مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایشات به نسبت سیگنال به نویز (S/N) تبدیل می‌شود. این نرخ نشان دهنده میزان انحرافات نمایش داده شده در متغیر پاسخ است.

در این تحقیق فاکتورهای کنترلی روش تاگوجی شامل پارامترهای الگوریتم ها می باشد. سطوح فاکتورهای الگوریتم های GA و PSO به ترتیب در جدول های ۲ و ۳ و نیز هریک برای مسائل بزرگ و کوچک نمایش داده شده است :

جدول ۲. فاکتورهای الگوریتم GA به همراه سطوحشان

فاکتورها	سطوح در مسائل کوچک			سطوح در مسائل بزرگ		
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
Pop*it	۷۵*۲۰۰	۱۰۰*۱۵۰	۱۵۰*۱۰۰	۱۰۰*۲۵۰	۱۲۵*۲۰۰	۲۰۰*۱۲۵
Pc	۰,۷۵	۰,۸۵	۰,۹۵	۰,۸	۰,۹	۰,۹۵
Pm	۰,۰۵	۰,۱	۰,۱۵	۰,۱	۰,۱۵	۰,۲
Elitism	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۱	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۱

جدول ۳. فاکتورهای الگوریتم PSO به همراه سطوحشان

فاکتورها	سطوح در مسائل کوچک			سطوح در مسائل بزرگ		
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
Pop*it	۷۵*۲۰۰	۱۰۰*۱۵۰	۱۵۰*۱۰۰	۱۰۰*۲۵۰	۱۲۵*۲۰۰	۲۰۰*۱۲۵
ω	۰,۷۵	۱	۱,۲۵	۰,۹	۱	۱,۵

طراحی آزمایشات عاملی کامل چهار فاکتور اشاره شده در الگوریتم GA ، در صورتیکه برای ۵ نوع مسأله نمونه در نظر گرفته شود و هر کدام ۳ بار اجرا شود، نیاز به $5 \times 3 \times 3^4 = 1215$ آزمایش برای اجرا در هر سایز دارد و نیز در الگوریتم PSO نیاز به حل $5 \times 3 \times 3^2 = 135$ مسأله در هر سایز دارد، اما با در نظر گرفتن زمان و هزینه انجام این حجم از آزمایشات اصلاً مقرون به صرفه نیست. از اینرو از طراحی آزمایشات کسری استفاده می کنیم. بدین منظور ابتدا بایستی درجه آزادی را محاسبه کنیم. در این تحقیق، یک درجه آزادی برای میانگین کل و دو درجه آزادی برای فاکتورهای سه سطحی خواهیم داشت. بنابراین درجه آزادی کل مورد نیاز برای الگوریتم GA برابر $(4 \times 2 + 1) = 9$ خواهد بود. درجه آزادی متناظر با این ۴ فاکتور برابر با ۹ است. بنابراین ارائه متعامد انتخاب شده برای این الگوریتم بایستی حداقل ۹ سطر و ۴ ستون داشته باشد تا با ۴ فاکتور مورد نظر تطابق کند. از جداول استاندارد ارائه های متعامد (ارتوگونال) مناسب ترین ارائه برای الگوریتم GA ، مطابق جدول ۴، $L9 (4^3)$ و برای الگوریتم PSO، مطابق جدول ۵، $L9 (2^3)$ است که شرایط لازم برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ها را داراست .

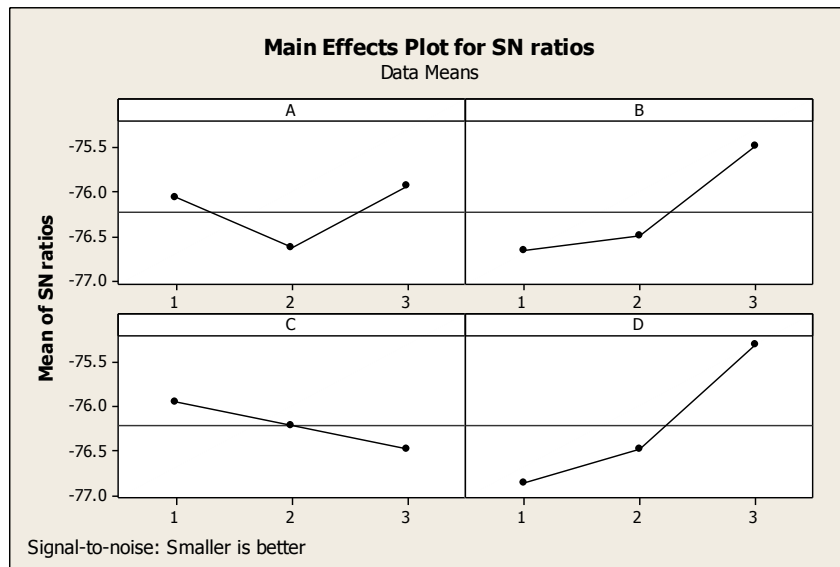
جدول ۴. ارائه متعامد $L9(4^3)$

Trial	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

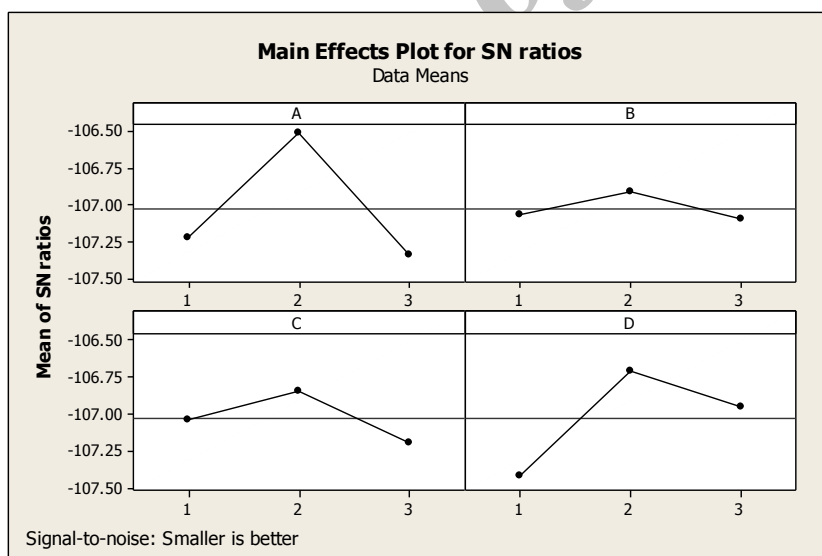
جدول ۵. ارائه متعامد $L9(2^3)$

Trial	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

مقادیر نرخ S/N برای سطوح مختلف پارامترهای الگوریتم GA در مسائل کوچک و بزرگ به ترتیب در شکل های ۵ و ۶ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل نمایان است، کاهش انحرافات این الگوریتم زمانی است که پارامترها در مسائل کوچک روی سطوح ترکیب تعداد جمعیت اولیه و نسل روی سطح ۳، نرخ تقاطع روی سطح ۳، نرخ جهش روی سطح ۱ و نرخ نخبه گرایی روی سطح ۳ و در مسائل بزرگ روی سطوح ترکیب تعداد جمعیت اولیه و نسل روی سطح ۲، نرخ تقاطع روی سطح ۲، نرخ جهش روی سطح ۲ و نرخ نخبه گرایی نیز روی سطح ۲، تنظیم شوند.

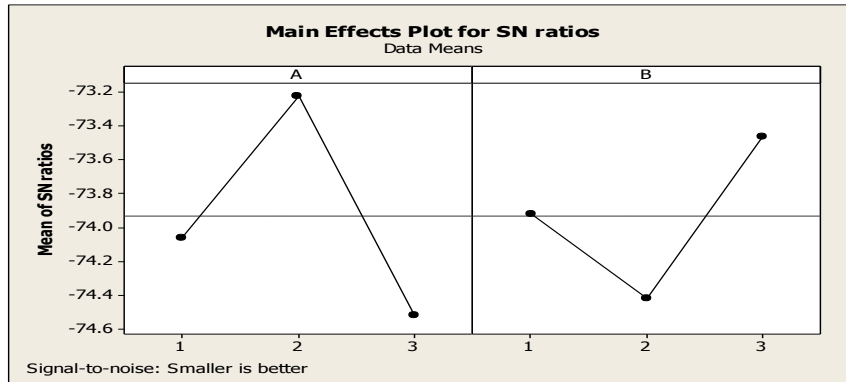


شکل ۵. نمودار نرخ S/N توابع هدف در سطوح مختلف عامل های الگوریتم GA در مسائل کوچک

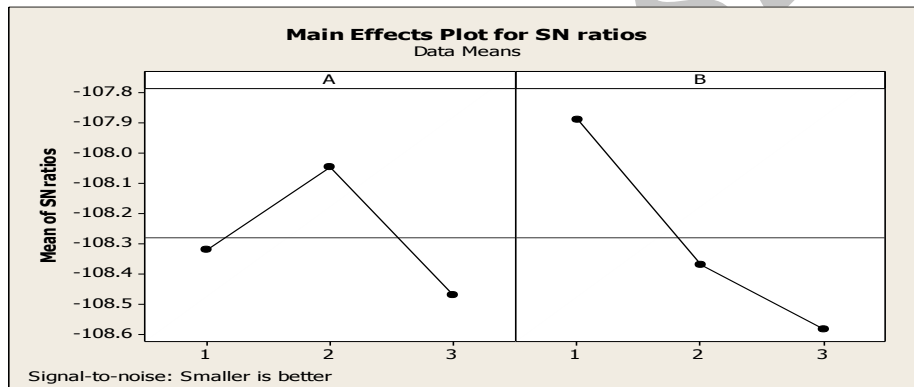


شکل ۶. نمودار نرخ S/N توابع هدف در سطوح مختلف عامل های الگوریتم GA در مسائل بزرگ

مقادیر نرخ S/N برای سطوح مختلف پارامترهای الگوریتم PSO در مسائل کوچک و بزرگ به ترتیب در شکل های ۷ و ۸ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل نمایان است، کاهش انحرافات این الگوریتم زمانی است که پارامترها در مسائل کوچک روی سطوح ترکیب تعداد ذرات اولیه و تکرار روی سطح ۲، وزن اینرسی روی سطح ۳، در مسائل بزرگ روی سطوح ترکیب ذرات و تکرار روی سطح ۲، وزن اینرسی روی سطح ۱، تنظیم شوند.



شکل ۷. نمودار نرخ S/N توابع هدف در سطوح مختلف عامل های الگوریتم PSO در مسائل کوچک



شکل ۸. نمودار نرخ S/N توابع هدف در سطوح مختلف عامل های الگوریتم PSO در مسائل بزرگ

اکنون که سطوح بهینه پارامترهای الگوریتم های پیشنهادی برای مدل مسئله مورد نظرمان، با استفاده از روش تاگوچی بدست آمده است، می توانیم نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم های پیشنهادی را از نظر مقدار تابع هدف و همینطور زمان حل با هم و نیز با روش دقیق با استفاده از برنامه لینگو مقایسه نماییم. ۵ مسأله در سایز کوچک توسط نرم افزار لینگو نیز حل شده اند. در مسئله S5 که برنامه لینگو در زمان ۲ ساعت قادر به ارائه جواب بهینه نهایی برای آنها نبود بهترین جواب حاصله در طی این زمان را به عنوان جواب نهایی در نظر گرفتیم. برای مسائل از شماره ۱ به بعد برنامه لینگو قادر به ارائه هیچ جوابی در مدت زمان تعیین شده نمی باشد و این موضوع با (*) نمایش داده شده است. سایر مسائل نیز در دو دسته کوچک و بزرگ مطابق جدول ۶ تولید شده اند (۱۲ مسأله کوچک و ۱۲ مسأله بزرگ).

نتایج حاصل از این الگوریتم ها توسط شاخص RPD¹² انجام شده و در جدول ۶ نشان داده شده است. شاخص RPD برای فهمیدن فاکتور های تعدیلی به کار گرفته می شود و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$RPD_{ij} = \frac{(Alg_{sol})_{ij} - Min_{sol}}{Min_{sol}} * 100$$

¹² The Relative percent deviation

که Alg_{sol} ارزش هدفی است که به ازای یک آزمایش توسط یک الگوریتم بدست می آید و Min_{sol} نیز بهترین مقداری است که به ازای هر آزمایش توسط هر الگوریتم محاسبه می شود. نتایج حاکی از عملکرد بهتر GA با مقدار RPD برابر با ۰,۳ در مقایسه با الگوریتم PSO با مقدار ۰,۰۵ می باشد.

جدول ۶. مسائل آزمایشی طراحی شده و نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ها

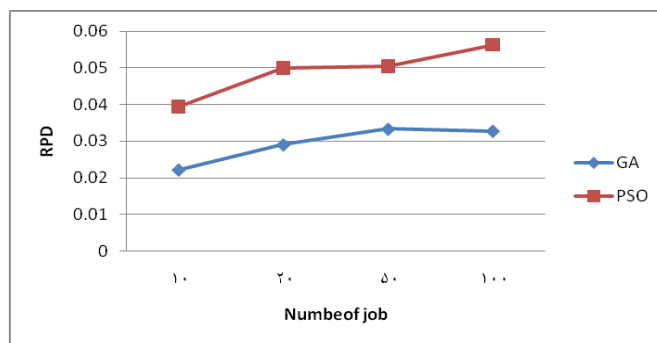
Trial	Job	Shop	AGV	Mean objective value			Mean RPD			Mean time ^c		
				GA	PSO	LINGO	GA	PSO	LINGO	GA	PSO	LINGO
s ₁	2	2	2	186.2	186.2	186.2 ^a	0	0	0	8.1361	9.3949	00:18
s ₂	2	3	1	204.4	204.4	204.4 ^a	0	0	0	7.448	9.5565	00:21
s ₃	3	2	1	276.8	276.8	276.8 ^a	0	0	0	8.6925	10.68	00:45
s ₄	3	3	2	214.6	214.6	214.6 ^a	0	0	0	16.1748	10.4824	01:45
s ₅	4	2	2	369.4	385	682.3 ^b	0	0.042	0.84	36.6796	24.5415	2hr
1	10	5	2	4368.3	4445.9	*	0.014	0.032	*	104.2094	112.7522	*
2	10	5	4	5917	6023.9	*	0.010	0.029	*	102.768	141.8573	*
3	10	10	2	8689.9	9030.2	*	0.001	0.041	*	109.4655	156.206	*
4	10	10	4	18772.1	19132	*	0.034	0.054	*	110.165	88.842	*
5	10	15	2	8852.7	8940.1	*	0.039	0.049	*	115.049	159.6478	*
6	10	15	4	14801.5	14769.5	*	0.034	0.032	*	114.786	119.2348	*
7	20	5	4	30509.7	31056	*	0.054	0.073	*	218.7771	220.5314	*
8	20	5	6	46950.9	47130.8	*	0.030	0.034	*	223.3526	301.006	*
9	20	10	4	61481.2	62357.8	*	0.011	0.026	*	225.9001	319.8864	*
10	20	10	6	112100.1	114451.4	*	0.005	0.026	*	226.7483	217.2521	*
11	20	15	4	27709.2	29215.7	*	0.020	0.076	*	248.6239	213.8552	*
12	20	15	6	63840.5	64545.6	*	0.053	0.065	*	246.6739	251.9661	*
13	50	10	6	220280.7	219205.8	*	0.039	0.034	*	1364.998	1316.332	*
14	50	15	8	492893.8	497298.1	*	0.032	0.041	*	1566.847	1932.488	*
15	50	20	6	548825.6	579605.5	*	0.002	0.058	*	1757.212	2133.463	*
16	50	10	8	953714.8	995069.5	*	0.041	0.086	*	1367.221	1666.235	*
17	50	15	6	678075.1	661861.7	*	0.072	0.047	*	1553.448	1897.623	*
18	50	20	8	1030067	1053448	*	0.014	0.037	*	1793.387	2157.054	*
19	100	10	8	973110.6	991152.8	*	0.023	0.042	*	3882.611	4635.917	*
20	100	15	8	1661715	1689742	*	0.020	0.037	*	4522.417	5429.328	*
21	100	20	6	2870559	2947264	*	0.029	0.056	*	5251.586	7976.39	*
22	100	10	6	3271459	3340657	*	0.038	0.060	*	3865.949	5611.454	*
23	100	15	6	1029877	1058562	*	0.023	0.051	*	4446.706	5612.104	*
24	100	20	8	2258408	2315209	*	0.064	0.091	*	5287.661	5780.94	*
Mean				683040.8	698340.6	*	0.029	0.049	*	1612.77	2018.85	*

a : Global optimum

b: Local optimum

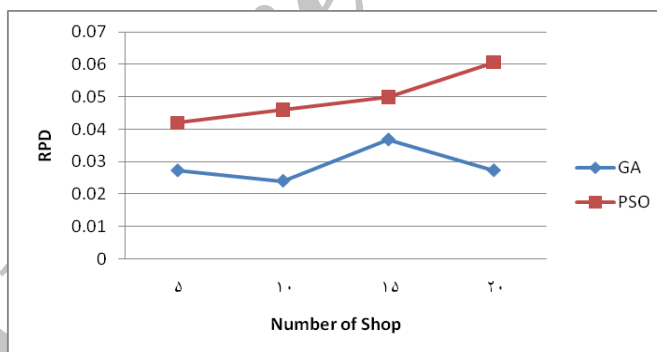
c: Seconds

در شکل ۹ تأثیر تعداد کارها نسبت به شاخص RPD نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است با افزایش سایز مسأله شاخص RPD افزایش می‌یابد. با این وجود با توجه به شکل الگوریتم GA در تمامی سطوح دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم PSO می‌باشد.

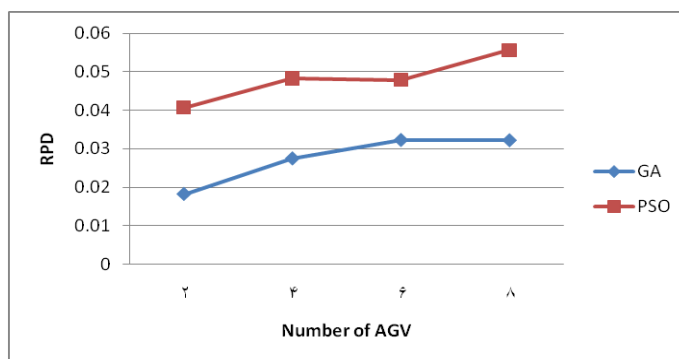


شکل ۹. تأثیر تعداد کارها نسبت به شاخص RPD

شکل ۱۰ به مقایسه روند تغییرات خطای دو الگوریتم پیشنهاد شده بر حسب تعداد کارگاه‌ها می‌پردازد. نتایج محاسباتی بیانگر آن است که الگوریتم GA به طور کلی به جوابهایی با کیفیت بیشتر دست پیدا می‌نماید و کیفیت جوابهای بدست آمده در مسائل با ۱۵ کارگاه در دو الگوریتم تا حدودی نزدیک به یکدیگر می‌باشد و در مسائلی با ۱۰ و ۲۰ کارگاه، کیفیت جوابهای GA بسیار بهتر از PSO می‌باشد.



شکل ۱۰. تأثیر تعداد کارگاه نسبت به شاخص RPD



شکل ۱۱. تأثیر تعداد AGV نسبت به شاخص RPD

رفتار دو الگوریتم با تغییر تعداد AGV برحسب شاخص RPD در شکل ۱۱ نمایش داده شده است که مشخص است با افزایش تعداد AGV میزان RPD هر دو الگوریتم در حال افزایش می‌باشد و در حالت کلی GA در مقایسه با PSO به جواب‌های بهتری دست می‌یابد.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق مساله کار کارگاهی انعطاف پذیر با وسایل حمل هدایت‌شونده چند گانه (Multiple AGV) با در نظر گرفتن سیاست‌های نگهداری و تعمیرات در نظر گرفته شده است. هدف از این مطالعه، برنامه ریزی صحیح کارها و وسایل حمل و نقل چندگانه با هدف برآورده ساختن حداقل قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. با توجه به NP-Hard بودن مساله، جهت حل مساله از الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه سازی تجمع ذرات استفاده شده است. همچنین جهت افزایش کارایی الگوریتم‌های پیشنهاد شده از رویکرد تاگوچی جهت تنظیم پارامترهای این الگوریتم‌ها استفاده شده است نتایج محاسباتی حاکی از عملکرد بهتر الگوریتم GA از لحاظ زمان حل و کیفیت جواب نسبت به الگوریتم PSO بوده است.

منابع

- Aized, T. Modelling and performance maximization of an integrate automated guided vehicle system using coloured Petri net and response surface methods. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 57(3), 822-831.
- Behnke, D., and Geiger, M.J. Test Instances for the Flexible Job Shop Scheduling Problem with Work Centers, Arbeitspapier/Research Report, RR-12-01-01. 2012. ISSN 2192 0826.
- Fazlollahtabar, H., Eshaghzadeh, A., Hajmohammadi, H., Taheri-Ahangar, A. A Monte Carlo simulation to estimate TAGV production time in a stochastic flexible automated manufacturing system: a case study. *International journal of Industrial system Engineering*, 2012, 12(3), 243-258.
- Fazlollahtabar, H. and Jalali Naini, S.G. Adapted Markovian model to control reliability assessment in multiple AGV manufacturing system. *Scientia Iranica, Transactions E: Industrial Engineering*, 2013, 20, 2224-2237.
- Fazlollahtabar, H. & Mahdavi-Amiri, N. Producer's behavior analysis in an uncertain bicriteria AGV-based flexible jobshop manufacturing system with expert system. *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 2013, 65, 1605-1618.
- Fazlollahtabar, H. & Mahdavi-Amiri, N. An optimal path in a bi criteria AGV-based flexible job shop manufacturing system with expert system. *International journal of advance manufacturing technology*, 2013, 65(9-12), 1605-1618.
- Fazlollahtabar H, Saidi-Mehrabad M. Optimising a multi-objective reliability assessment in multiple AGV manufacturing system. *International Journal of Services and Operations Management*, 2013, 16(3), 352-372.
- Fazlollahtabar, H., Saidi-Mehrabad, M., Balakrishnan, J. Integrated Markov-neural reliability computation method: A case for multiple automated guided vehicle system. *Reliability Engineering and System Safety*, 2015, 135, 34-44.
- Fazlollahtabar, H., and Saidi-Mehrabad, M. Methodologies to optimize Automated Guided Vehicle scheduling and routing problems: A review study. *Journal of intelligent Robot systems*, 2015, 77, 525-545.
- Gotting, H.H.: *Automation and steering of vehicles in ports*. Port Technology International. 10, 101-111 (2000).

Kise, H. On an automated two-machine flow shop scheduling problem with infinite buffer. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 1991, 34, 354–361.

Nishi, T., Hiranaka, Y., Grossmann, I.E. A bilevel decomposition algorithm for simultaneous production scheduling and conflict free routing for automated guided vehicles. *Computers and Operations Research*, 2011, 38, 876-888.

Sabuncuoglu, I., & Karabuk, S. A beam search-based algorithm and evaluation of scheduling approaches for flexible manufacturing systems. *IIE Transaction*, 1998, 30, 179–191.

Archive of SID