

حل مساله زمانبندی سلولهای تولیدی مجازی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان

سعید طسوجی حسن‌پور^۱، رضا بشیرزاده^۲، ابوالفضل آدرسی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ sa.tasouji@gmail.com

^۲عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ rbashirzadeh@kntu.ac.ir

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی؛ adressi.abolfazl@gmail.com

چکیده

در این مقاله یک الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای زمان بندی کارها در سلولهای تولیدی مجازی ارائه می‌شود. یک سلول تولیدی مجازی، نوعی سلول تولیدی می‌باشد که در آن ماهیت فیزیکی برای سلولها قابل نمی‌شوند، ولی ماشینها در یک ناحیه پیوسته به صورت فیزیکی در دسترس هستند. در این مقاله چندین کار با فرآیندهای تولیدی متفاوت موجود می‌باشند، عبارت دیگر فرآیندهای تولیدی از چندین کار که هرکدام شامل چندین فعالیت است، تشکیل شده‌اند. انواع مختلفی از ماشین‌آلات که از هرکدام به تعدادی موجود است در نواحی مختلف بستر کارگاه موجود می‌باشند. ابتدا مساله بصورت مدل ریاضی فرمولبندی می‌شود و سپس مدل الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان ارائه خواهد شد. هدف از مسئله زمان بندی، مینیمم سازی مسافت طی شده‌ی کل و زمان انجام آخرین فعالیت آخرین کار می‌باشد. برای نشان دادن کارایی این مدل، نتایج بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان با نتایج بدست آمده از الگوریتم ژنتیک مقایسه شده‌اند. نتایج یک مجموعه از آزمایش‌های عددی که به صورت تصادفی به وجود آمده اند بیانگر این مطلب است که هرچقدر تعداد کارها و فعالیت‌ها کمتر باشند، الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان جوابهای بهتری را نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی

سلولهای تولیدی مجازی، زمانبندی تولید، الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان، مدل ریاضی

A Solution for Virtual Cellular Manufacturing System's Scheduling Problem Using an Ant Colony Optimization Model

S. Tasouji Hassanpour¹, R. Bashirzadeh¹, A. Adressi¹

¹K.N Toosi University of Technology; Faculty of Industrial Engineering, Tehran, IRAN

ABSTRACT

In this paper, we present an ant colony optimization algorithm for scheduling of jobs in virtual cellular manufacturing systems. A virtual manufacturing cell (VMC) is a group of resources that is dedicated to the manufacturing of a part family, though this grouping is not reflected in the physical structure of the manufacturing system, but machines are available on the shop floor physically. In this paper, there are multiple jobs with different manufacturing processing. First, we develop the mathematical model for the problem, and then we present the suggested ACO algorithm. Objective functions are minimizing total travelling distance and makespan of jobs. In order to evaluate the effectiveness of the model, the results will be compared with the GA algorithm solution. Computational results show that as the number of jobs and operation get smaller the ACO algorithm will be finding better solutions, and in large scale the GA algorithm find better solutions.

KEYWORDS

Virtual cellular manufacturing systems, scheduling, Ant colony optimization algorithm, mathematical formulation.

^۱سعید طسوجی حسن‌پور، نشانی: میدان ونک-خیابان ملاصدرا- جنب هتل پردیس- دانشکده صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، شماره تماس: ۰۹۱۲۶۴۹۸۲۰۹، آدرس پست الکترونیکی: sa.tasouji@gmail.com

1- مقدمه

در این مقاله مسئله‌ی زمانبندی سلولهای تولیدی مجازی¹ با استفاده از تابع هدف چندگانه‌ی کمینه‌کردن زمان تکمیل کارها² و مسافت طی شده‌ی کل³، مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی چندین کار وجود دارد که هر کار شامل چندین فعالیت می‌باشد. انواع مختلفی از ماشین آلات وجود دارد که از هر کدام تعدادی موجود است. فرض بر این است که تمام ماشین‌های یک نوع ویژگی‌های عملیاتی خاص و فرآیندی یکسانی را دارند. به عنوان مثال ماشین‌هایی که متعلق به نوع A هستند همگی دارای زمان‌های عملیاتی یکسانی هستند. ماشینها در مکان‌های مختلف بستر کارگاه قرار دارند. تصمیمات زمان بندی شامل (1) تخصیص کارها به ماشینها و (2) زمان شروع کارها روی هر ماشین است.

الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان⁴ که توسط دوریگو⁵ (1992) ایجاد شده، از مشاهده کلونی‌های واقعی مورچگان و بخصوص از رفتار مورچگان برای پیدا کردن کوتاهترین مسیر از لانه خود تا منبع غذایی و نیز برعکس الهام گرفته شده است. یافته‌ها حاکی از آن بود که مورچه‌ها هنگامی که بین منبع غذایی و لانه‌شان در حال رفت و آمد بودند، ماده‌ای به نام فرمون⁶ را از خود بر روی زمین به جای می‌گذارند که باعث شکل‌گیری یک مسیر فرمون⁷ می‌شود. علی‌رغم این که یک مورچه‌ی مجزا به صورت تصادفی سفر می‌کند، مورچه‌ها می‌توانند فرمون را تشخیص داده و از مسیری که حاوی فرمون بالاتری است حرکت نمایند و بر فرمون مسیر بیفزایند. همچنین نتایجی که از آزمایشات مختلف به دست آمد، حاکی از این مطلب بود که این گرایش به سمت مسیر فرمون می‌تواند منجر به آشکارسازی کوتاهترین مسیرها شود (گوس و همکاران). از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی گسسته‌ی NP-HARD مانند مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره گرد، مسئله تخصیص مضاعف، مسائل مسیریابی تجهیزات و مسئله زمان بندی استفاده می‌شود.

در ابتدا مدل ریاضی را برای این مسئله فرمول بندی می‌کنیم. سپس الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان را برای به دست آوردن جواب استفاده خواهیم نمود. و در نهایت نتایج به دست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان با نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک مقایسه خواهیم نمود.

2- مرور ادبیات

طی سالهای اخیر، محققان تحقیقات زیادی را در طراحی و کاربرد انواع مختلف سلولهای تولیدی مانند سلولهای مجازی، سلولهای هولونیک⁸، سلولهای پویا⁹ و ... انجام داده‌اند. در میان این انواع مختلف سلولها، به نظر می‌رسد که سلولهای تولیدی مجازی که تقریباً از دو دهه پیش مطرح شده‌اند در سالهای اخیر با استقبال

بیشتری از سوی محققان روبرو شده‌اند. به طور کلی می‌توان مطالعات انجام شده در زمینه سلولهای مجازی را به سه دسته‌ی طراحی، عملکردی و تجربی تقسیم نمود. اولین مقاله‌ای که به نظر می‌رسد از مفهوم سلول تولیدی مجازی استفاده کرده است مقاله‌ای است که توسط آلتوم¹⁰ (1978) چاپ شده است. هدف از این پروژه تحقیقاتی، توسعه ظرفیت تولیدی شرکت خدماتی هالیپورتون توسط منابعی که از لحاظ دسترسی محدود بودند بوسیله کاربرد اصول تکنولوژی گروهی به منظور کاهش زمانهای راه اندازی و تخصیص کردن تجهیزات بود. مونترویل¹¹ و همکارانش (1992) این ایده را که سازمان (سیستم منطقی) می‌تواند از چیدمان (سیستم فیزیکی) جدا شود را مطرح نمودند. مودی¹² و همکاران یک چارچوب کنترلی برای زمانبندی کارها با استفاده از سلولهای مجازی تولیدی ارائه کردند. ایجاد یک خط جریان محصول تکی موقت از طریق تخصیص دادن دستگاه‌ها به یک سری از ایستگاههای کاری انجام می‌شود. این مسئله از طریق یک مدل برنامه ریزی خطی قابل حل است که در آن هدف مینیمم کردن هر دوی فواصل سفر و دیرکرد کارها می‌باشد. سارکر و لی¹³ (2001) این مسئله را بصورت یافتن راهی از میان یک شبکه از منابع برای هر کدام از کارها ارائه کردند. هدف کمینه‌کردن زمان اتمام آخرین فعالیت یک سری از کارها است. تومالا¹⁴ (2000) همان مسئله را مورد خطاب قرار داد، اما این بار تابع هدف حداقل نمودن میزان دیرکرد مجموعه را مدنظر قرار داد که مسئله را از طریق استفاده از رویکرد سست‌سازی لاگرانژین حل نمود. رویکرد دیگری توسط مک و وانگ¹⁵ (2002) مطرح شد که از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله با هدف کمینه‌کردن مجموع فواصل سفر استفاده نمودند. کوهلینگ¹⁶ (1998) تحقیقات دقیقی را در کاربرد سلولهای تولیدی مجازی در یک کارخانه آهنگری انجام داد و در آن تخصیص کارگران از بخشهای مختلف تولیدی را به خانواده‌های اجزا بررسی کرد. مرتینز¹⁷ و همکاران (2000) رویکرد مشابهی را برای حل تمایز آشکار میان تیمهای مجازی در مسئله مطرح شده توسط کوهلینگ مطرح نمودند. در دیدگاه آنها اندازه‌ی دسته‌ها باید از ظرفیت کاربردی برابری برخوردار باشند و هر کدام از تیمهای مجازی باید به ظرفیت تولیدی دسترسی داشته باشند. واخاریا¹⁸ و همکاران (1999) آنالیزی از سلولهای تولیدی مجازی در یک کارگاه واقعی با استفاده از تئوری صف را ارائه نمودند. سوباش¹⁹ و همکاران (2000) چارچوبی را برای شکل‌دهی سلول مجازی مطرح نمودند. به طور عمده در این تحقیق نویسندگان چندین الگوریتم خوشه بندی را برای شکل دهی سلولهای مجازی تست کردند. راجف²⁰ (2001) و ساد و همکاران (2002) روشی را برای ایجاد سلولهای تولیدی مجازی ارائه کردند. اولین قدم این روش شامل تجزیه و تحلیل الزامات تولید بخش ترکیبی می‌باشد. خیلوانی²¹ و همکاران (2009) ذکر می‌کنند که حل مسایل سلول‌های تولید مجازی در واقع بسیار مشکل می‌باشد. این مقاله به منظور حداکثر نمودن شاخص شباهت و کمینه‌کردن زمان تدارک انجام گرفته است. یک مدل ریاضی و

رویکرد حل کارا نیز پیشنهاد شده است. فلینو جیکوبز (1987) و (1986) مطالعات شبیه‌سازی تکنولوژی گروهی را بخصوص در زمینه زمانبندی خانواده محور را در یک چیدمان کارگاهی که به عنوان یک چیدمان سلولی محض آنرا نمی توان به حساب آورد، اجرا نمودند.

3- مدل ریاضی

برای این که یک سیستم تولیدی مجازی بصورت کارا و موثر طراحی شود می‌بایست مدل ریاضی، سه گونه از اطلاعات را در برنامه‌ی تولیدی ایجاد شده داشته باشد. مورد اول برنامه‌ای است که انواع ایستگاههای کاری و منابع تولیدی را که با یکدیگر برای شکل-دهی به سلولهای تولیدی مجازی گرد هم آمده‌اند، مشخص می‌سازد. مورد دوم برنامه‌ای که ایستگاههای کاری گلوگاهی در سلولهای تولیدی مجازی را مشخص می‌سازد و بهترین روش را برای تخصیص کارها تعیین می‌کند و در نهایت برنامه‌ای که زمان‌های ایجاد و پایان سلولهای تولیدی مجازی را با در نظر گرفتن در دسترس بودن منابع تولیدی متفاوت مشخص سازد. ما یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی ترکیبی با تابع هدف چندگانه را به صورت زیر فرمول بندی نموده‌ایم: در مسئله n کار و m نوع ماشین وجود دارد. هر نوع ماشین می‌تواند بیشتر از یک ماشین داشته باشد. $s(i)$ یک ماشین تکی است که به نوع i ماشین تعلق دارد. ماشین های مربوط به نوع i ام در مناطق مختلف بستر کارگاه قرار گرفته‌اند و نمی‌توانند به صورت موازی کار کنند. تمام ماشین‌هایی که به نوع i تعلق دارند، یکسان هستند. $O_{j,h}$ نشان دهنده h امین فعالیت کار j ام است. هر کار مسیر تولیدی خاص خود را دارد. مسئله از دو قسمت تشکیل شده است: تخصیص ماشین آلات و زمان بندی فرآیند. نتیجه کارها به صورت دسته نمود پیدا می‌کند. اندازه دسته‌ها و ارتباطات تقدم و تاخیر مشخص می‌باشند. شکافتن دسته‌ها در مدل مجاز نمی‌باشد. این بدین معنی است که وقتی که $O_{j,h}$ به ماشین $s(i)$ تخصیص داده می‌شود، تمامی اجزای آن دسته باید بر روی آن ماشین انجام شود. علاوه بر این وقتی که $O_{j,h}$ فرآیند خود را شروع می‌کند، تمامی اجزای کار j ام بدون وقفه کامل می‌شود. تمام کارها در زمان صفر در دسترس می‌باشند. فواصل میان هر جفت از دستگاهها معلوم و ماشین‌ها غیرمتحرک می‌باشند. پارامترهای مسئله شامل موارد زیر می باشد:

J	شاخص کار ($j = 1, \dots, n$)
i, k	شاخص گروه ماشین ($i, k = 1, \dots, m$)
L	شاخص برای اولویت روی هر ماشین ($l = 1, \dots, l_{s(i)}$)
H	شاخص فعالیت ($h = 1, \dots, h_j$)
$O_{j,h}$	h امین فعالیت کار j ام
$s(i)$	ماشین s که به گروه i ماشین ها تعلق دارد
N_j	اندازه دسته شغل j ام
$P_{j,h}$	زمان فرآیند واحد عملیات h شغل j
$D_{s(i),s(k)}$	هزینه جابجایی واحد برای هر شغل که باید از ماشین $s(i)$ به

$$\begin{aligned}
 & s(k) \text{ انجام گردد} \\
 & M \text{ یک عدد خیلی بزرگ} \\
 & W_q \text{ وزن } q \text{ امین تابع هدف} \\
 & C_{\max} \text{ زمان اتمام آخرین فعالیت آخرین کار} \\
 & Y_{s(i),j,h} \text{ اگر ماشین } s(i) \text{ برای } O_{j,h} \text{ انتخاب شود مقدار } 1 \text{ و در غیر اینصورت مقدار } 0 \text{ را می گیرد} \\
 & X_{s(i),j,h,l} \text{ اگر } O_{j,h} \text{ روی ماشین } s(i) \text{ در اولویت } l \text{ انجام شود مقدار } 1 \text{ و در غیر اینصورت مقدار } 0 \text{ را اتخاذ می کند} \\
 & t_{j,h} \text{ زمان شروع فرآیند عملیات } O_{j,h} \\
 & Tm_{s(i),l} \text{ زمان شروع برای ماشین } s(i) \text{ در اولویت } l \\
 & (1) \quad Min W_1 C_{\max} + W_2 \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^{h_j} \sum_{s(i)} Y_{s(i),j,h} Y_{s(k),j,h+1} D_{s(i),s(k)} N_{(0)} \text{ subject to} \\
 & (2) \quad C_{\max} \geq t_{j,h} + P_{j,h} N_j \text{ for } j = 1, \dots, n \\
 & (3) \quad t_{j,h} + P_{j,h} N_j \leq t_{j,h+1} \text{ for } j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, h_j - 1 \\
 & (4) \quad Tm_{s(i),l} + X_{s(i),j,h,l} P_{j,h} N_j \leq Tm_{s(i),l+1} \text{ for } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, h_j; l = 1, \dots, l_{s(i)} - 1 \\
 & (5) \quad t_{j,h} + M(1 - X_{s(i),j,h,l}) \geq Tm_{s(i),l} \text{ for } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, h_j; l = 1, \dots, l_{s(i)} \\
 & (6) \quad Tm_{s(i),l} + M(1 - X_{s(i),j,h,l}) \geq t_{j,h} \text{ for } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, h_j; l = 1, \dots, l_{s(i)} \\
 & (7) \quad \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^{h_j} X_{s(i),j,h,l} \leq 1 \text{ for } j = 1, \dots, n; l = 1, \dots, l_{s(i)} \\
 & (8) \quad \sum_i Y_{s(i),j,h} = 1 \text{ for } j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, h_j \\
 & (9) \quad \sum_l X_{s(i),j,h,l} = Y_{s(i),j,h} \text{ for } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; h = 1, \dots, h_j
 \end{aligned}$$

$$C_{\max} \geq 0, t_{j,h} \geq 0, Tm_{s(i),l} \geq 0, \\ Y_{s(i),j,h}, X_{s(i),j,h,l} \in \{0,1\}$$

تابع هدف از دو هدف زمان اتمام آخرین فعالیت و مسافت طی شده‌ی کل تشکیل شده است. محدودیت (2) تضمین می‌کند که زمان اتمام آخرین فعالیت باید بزرگتر یا مساوی زمانهای اتمام عملیات باشد. محدودیت (3) بیانگر این مطلب است که فعالیت بعدی هر کدام از شغلها تنها زمانی می‌تواند شروع شود که فعالیت قبلی به اتمام رسیده باشد. محدودیت (4) حاکی از آن است فعالیت‌های بعدی هر ماشین باید منتظر اتمام فعالیت‌های قبلی آن باشند. محدودیت‌های (5) و (6) دلالت بر این دارند که اگر $X_{s(i),j,h,l}$ معادل 1 باشد آنگاه فعالیت h کار z و l امین اولویت (ترتیب) روی ماشین $s(i)$ باید در یک زمان یکسان شروع شوند. محدودیت (7) بیانگر این مطلب است که بر روی هر اولویت از ماشین حداکثر یک فعالیت می‌تواند تخصیص داده شود. محدودیت (8) تضمین می‌کند که هر فعالیت از هر شغل می‌تواند به یک ماشین از ماشین‌های کاندید تخصیص داده شود. محدودیت (9) محدودیت تعادل است و بیانگر این موضوع است که اگر فعالیت یک شغل به هر ماشین بخصوصی اختصاص یابد، این فعالیت برای هر اولویت از ماشین جایگذاری می‌شود. در نهایت محدودیت (10) حاکی از غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم است. قسمت دوم از تابع هدف که مربوط به مسافت طی شده کل است، یک تابع غیر خطی است. برای خطی نمودن آن از تغییر متغیر زیر استفاده می‌کنیم:

$$Z_{s(i),s(k),h,h+1} = Y_{s(i),j,h} \cdot Y_{s(k),j,h+1} \quad (11)$$

$$Z_{s(i),s(k),h,h+1} - Y_{s(i),j,h} - Y_{s(k),j,h+1} \geq 0 \quad (12)$$

$$2Z_{s(i),s(k),h,h+1} - Y_{s(i),j,h} - Y_{s(k),j,h+1} \leq 0 \quad (13)$$

4- الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان

ایده اصلی در این الگوریتم ها، استفاده از اصول خود سازماندهی شده به منظور حل مسائل محاسباتی است. الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان سعی دارد تا قابلیت‌های جمعی که در کلونی مورچه‌ها وجود دارد را برای حل مسائل بهینه‌سازی، شبیه‌سازی کند. مورچه‌ها همواره مسیر یکسانی را دنبال می‌کنند و این مسیر، کوتاهترین مسیر ممکن است. این امر نتیجه یک نوع ارتباط غیرمستقیم است که از طریق محیط صورت می‌گیرد و به آن استیگمرجی می‌گویند. هر مورچه در طول مسیر خود، یک ماده شیمیایی به نام فرمون ترشح می‌کند. تمامی اعضای کلونی، این ماده را حس می‌کنند و مسیر خود را به سمت مسیری جهت می‌دهند که دارای فرمون بیشتری است. پنج مرحله اساسی در مورد الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان در این مقاله به ترتیب زیر است:

گام یک: مقادیر اولیه پارامترها و فرمون مسیرهای الگوریتم

بهینه‌سازی کلونی مورچگان را مشخص نمایید.
گام دو: مورچه‌ها را جهت مشاهده تمامی گره‌های مرتبط و ایجاد مسیرهای مربوطه خودشان آزاد سازید.
گام سه: مسیرهای ایجاد شده را ارزیابی کنید.
گام چهارم: فرمون مسیرها را به روزآوری کنید.
گام پنجم: اگر شرایط خاتمه مهیا نبود به گام دو برگردید در غیر اینصورت الگوریتم را خاتمه دهید.

4-1- ایجاد مسیر

در گام دو از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان، مورچه k که در گره λ م حضور دارد تصمیم به رفتن به گره λ م را با استفاده از قاعده زیر می‌گیرد:

$$j = \begin{cases} \arg \max \{ [\tau_{iu}]^\alpha [\eta_{iu}]^\beta \} \\ J \end{cases} \quad (14)$$

که در آن η_{iu} یک مقدار ابتکاری است که معادل با معکوس طول d_{iu} از گره i به گره u است. τ_{iu} مقدار فرمون مسیر از گره i به گره u می‌باشد. α و β دو پارامتر می‌باشند که برای کنترل وزن نسبی فرمون مسیر و مقدار ابتکاری به کار گرفته می‌شوند (دوریگو و استاتزل 2004).

$S_k(i)$ یک لیست ممنوعه که شامل گره‌هایی است که توسط مورچه k م که در گره λ م است پیموده نشده است.
 q یک عدد تصادفی است که به طور یکنواخت در بازه $[0,1]$ توزیع شده است.

q_0 یک پارامتر برای تصمیم‌گیری در مورد اهمیت نسبی میان اکتشاف و استخراج می‌باشد.

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in S_k(i)} \{ [\tau_{iu}]^\alpha [\eta_{iu}]^\beta \}} & \text{if } j \in S_k(i) \\ 0 & \text{if } j \notin S_k(i) \end{cases} \quad (15)$$

در معادله 15، $P_{i,j}^k$ احتمال آن است که مورچه k م از گره i به گره j برود.

4-2- به روز آوری محلی مسیرهای فرمون

برای جلوگیری از همگرایی زودرس، به روزآوری محلی فرمون های مسیر مورد نیاز است. از اینرو هر وقت که یک مورچه یک سفر را در گام دو به اتمام می‌رساند فرمون مسیری که در گذرگاههایی که از آنها عبور کرده، کاهش خواهد یافت. بنابراین این مسیرها برای مورچه‌های دیگر کمتر جذابیت خواهند یافت. بروزآوری محلی فرمون مسیر از گره i به گره j با استفاده از معادله زیر انجام می‌شود.

اینکه رابطه معناداری جهت بهتر بودن نتایج نهایی میان دو الگوریتم وجود داشته باشد، میان تعداد مورچگان در الگوریتم مدنظر و جمعیت الگوریتم ژنتیک رابطه زیر در نظر گرفته شده است:

$$\text{Popsiz} = 5 \times k \quad (18)$$

برای هر کدام از الگوریتم‌ها در هر مرحله 5 تکرار انجام گردیده و بهترین نتایج بدست آمده ثبت شده است. در جدول شماره (1) که در صفحه‌ی بعدی آمده است، F^* بیانگر بهترین مقدار تابع هدف در پنج تکرار انجام گرفته است که خود مجموع وزنی از دو هدف زمان اتمام آخرین فعالیت و مسافت سفر کل می‌باشد. TTD^* بهترین مقدار مسافت کل سفر و C_M^* بهترین مقدار زمان اتمام سفر کل است:

$$F^* = (W_1 \times C_M) + (W_2 \times TTD) \quad (19)$$

$\Delta(\%)$ بیانگر مقدار بهبود جواب بدست آمده از الگوریتم مطرح شده در مقاله نسبت به مقدار الگوریتم ژنتیک مطرح شده در [2] می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \tau_{ij} + \rho \cdot \tau_0 \quad (16)$$

که در آن ρ عضو از (0,1)، نرخ تبخیر فرمونی است که در بروزآوری محلی استفاده شده و τ_0 مقدار اولیه فرمون مسیر است و در گام اول الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان، $\tau_0 = \frac{1}{d_{total}}$ است که در آن d_{total} مسافت کل پیموده شده توسط مواد و اجزای ترکیبی برای تولید محصولات است که به وسیله توالی فرآیند که از یک سفر تصادفی یک مورچه به دست می‌آید، مشخص می‌شود.

3-4- به روز آوری سراسری فرمون مسیر

بعد از آن که تمامی مورچه‌ها سفرهای خود را به اتمام رساندند، گام 4 به روزآوری سراسری بر روی فرمون مسیرها انجام می‌گردد. هدف از به‌روزآوری سراسری افزایش فرمون مسیرهایی است که بهترین عملکرد را تا بدین جا داشته‌اند:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho_g) \tau_{ij} + \rho_g \cdot \Delta_{ij}^* \quad (17)$$

که در آن ρ_g متعلق به (0,1) نرخ تبخیر فرمون برای به-

روزآوری سراسری است و Δ_{ij}^* مقدار فرمون برای بهترین سفری

است که تا بدین جا یافت شده است که توسط معادله زیر به دست

می‌آید:

$$\Delta \tau_{ij}^* = \begin{cases} \frac{1}{C^*} & \text{اگر مسیر از گره } i \text{ به } j \text{ متعلق به } T^* \text{ باشد} \\ 0 & \end{cases} \quad (18)$$

در معادله بالا C^* هزینه T^* که بهترین مسیری است که تا

بدین جا یافت شده است، می‌باشد. هزینه مربوط به سفر کل پیموده

شده توسط مواد و اجزای ترکیبی برای تولید محصولات است. مقدار

اولیه $\Delta \tau_{ij}^*$ در گام اول الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان معادل

با صفر است.

5- نتایج

برای انجام عملیات مربوط به الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان از نرم‌افزار متلب ورژن 7.7.0.471 استفاده شده است. نتایج بدست آمده از این الگوریتم با نتایج بدست آمده از الگوریتم ژنتیک مطرح شده در [2] مقایسه شده است. فاصله میان هر جفت از وسایل از توزیع یکنواخت با حد بالای 80 و حد پایین 10 پیروی می‌کند. زمان عملیاتی هر کدام از شغلها دارای توزیع یکنواخت بین 2 و 10 و اندازه‌ی دسته‌ها دارای توزیع یکنواخت بین 5 و 40 می‌باشند. وزن مربوط به زمان اتمام آخرین فعالیت و مسافت سفر کل به ترتیب برابر با $W_2 = 0.05$ و $W_1 = 0.95$ در نظر گرفته شده‌اند. به منظور

جدول شماره 1- مقایسه نتایج الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان و الگوریتم ژنتیک

الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان					الگوریتم ژنتیک				$\sum S(i)$	$n \times m$	#
$\Delta(\%)$	F^*	TTD^*	C_M^*	k	F^*	TTD^*	C_M^*	Pop size			
0.55	520.4	2218	431	60	523.3	2219	434	300	6	3×4	1
0.75	751.2	4802	538	60	756.9	4802	544	300	10	4×4	2
0.88	689.1	3940	518	60	695.2	3948	524	300	4	2×5	3
0.71	519.4	3794	347	60	523.1	3793	351	300	6	3×5	4
0.6	830.7	8215	442	60	835.2	8220	447	300	4	2×6	5
0.72	700.7	3450	556	100	705.8	3456	561	500	6	3×6	6
0.56	859.5	5998	589	100	864.3	5999	594	500	4	2×7	7
0.27	1068.6	8793	662	100	1071.5	8795	665	500	6	3×7	8
0.16	1057.8	8197	682	100	1059.5	8193	684	500	10	4×7	9
0.42	902.6	7791	540	150	906.4	7792	544	750	6	3×8	10
0.09	965.8	8647	571	200	966.7	8465	572	1000	10	4×8	11
0.24	1185.6	11988	617	250	1188.4	11987	620	1250	6	3×9	12
0.07	1339.2	9246	923	250	1340.1	9246	924	1250	10	4×9	13
0	1119.6	7191	800	250	1119.6	7192	800	1250	8	3×10	14
-0.08	1228.5	10984	715	300	1227.5	10983	714	1500	12	4×10	15
-0.22	1390.1	10645	903	300	1387	10640	900	1500	15	5×10	16
-0.17	1669.7	14811	978	300	1666.8	14810	975	1500	20	6×10	17
-0.29	1429.8	10051	976	300	1425.6	10044	972	1500	6	3×11	18
-6.96	1545.4	13162	934	300	1444.8	13163	828	1500	10	4×11	19
-0.52	1094.9	7096	779	300	1089.2	7097	773	1500	4	2×12	20
-0.1	1444.2	15660	696	300	1442.8	15651	695	1500	6	3×12	21
-0.37	1848.3	22564	758	300	1841.5	22561	751	1500	10	4×12	22
-0.45	1580	18129	709	400	1573	18121	702	2000	15	6×12	23
-0.5	1400.4	10508	921	400	1393.5	10504	914	2000	6	3×13	24
-0.47	1531.4	16472	745	400	1524.2	16461	738	2000	10	4×13	25
-0.35	1674.5	17189	859	400	1669.7	17186	853	2000	6	3×15	26
-0.52	2259	25120	1051	400	2247.4	25206	1039	2000	10	4×15	27
-0.27	1826.7	18958	925	400	1821.7	18953	920	2000	15	5×15	28
-0.33	1774.8	20751	776	400	1768.9	20747	770	2000	12	4×20	29
-0.32	2722.7	34827	1033	800	2714.1	34825	1024	4000	15	5×20	30

$$\Delta(\%) = \frac{F_{GA} - F_{ACO}}{F_{GA}} \times 100 \quad (16)$$

چون مسئله بصورت کمینه‌سازی است، بنابراین هرچه مقدار $\Delta(\%)$ بیشتر باشد، الگوریتم مطرح شده بهتر از الگوریتم ژنتیک عمل می‌نماید. با توجه به نتایج که در جدول (1) نشان داده شده است، می‌توان مشاهده نمود که در 14 مورد اول الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان بهتر از ژنتیک عمل می‌نماید و تابع هدف آن کمتر می‌باشد. از مورد 14 به بعد الگوریتم ژنتیک بهتر عمل می‌نماید و جوابهایی با تابع هدف کمتر ایجاد می‌کند. شایان ذکر است که در کل با افزایش جمعیت و تعداد مورچگان، زمان انجام الگوریتم ژنتیک نیز نسبت به الگوریتم کلونی مورچگان کمتر می‌شود.

3-4- مراجع

- ¹Virtual Cellular Manufacturing Systems
- ²Makespan
- ³Total Travelling Distance
- ⁴Ant Colony Optimization Algorithm
- ⁵Dorigo
- ⁶Pheromone
- ⁷Pheromone Trail
- ⁸Holonic cells
- ⁹Dynamic cells
- ¹⁰Altom
- ¹¹Montreuil
- ¹²Moodie
- ¹³Sarker & Li
- ¹⁴Thomalla
- ¹⁵Mak & Wang
- ¹⁶Kuhling
- ¹⁷Mertins
- ¹⁸Vakharia
- ¹⁹Subash
- ²⁰Ratchev
- ²¹Khilwani

- [1] یقینی، مسعود؛ الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری، انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، 1390
- [2] Kesen, S. E., Das, K.S., and Gungor, zulal. (2010), A genetic algorithm heuristic for scheduling of virtual manufacturing cells (VMCs), *International Journal of Computers and Operations Research*, Volume 37, pages 1148-1156.
- [3] Gao J, Sun L, Gen M. A hybrid ant variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems. *Computers & Operations Research* 2008; 35(9): 2892-907.
- [4] Kesen, S. E., Toksari, M. D., Gungor, Z., and Guner, E. (2009), Analyzing the behaviors of virtual cells (VCs) and traditional manufacturing systems: Ant colony optimization (ACO)-based metamodel, *International Journal of computers and operations Research*, Volume 36, Pages 2275-2285..
- [5] Mak, K. L., and Wang, X. X. (2002), Production scheduling and cell formation for virtual cellular manufacturing systems, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 20, Issue 2, Pages 144-152.
- [6] Mak, K. L., Ma, J., and Su, W., (2010), Production Scheduling for Virtual Cellular Manufacturing Systems with Workforce Constraints Using a Hybrid Algorithm, *Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC 2010)*.
- [7] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Trans. Evol.Comput.*, vol. 1, pp. 53-66, Apr. 1997.