Archive of SID

فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج - سال هشتم / شماره ۲۳ / بهار ۱۳۹۲

مقایسه کارایی روش های "سیستم کلونی مورچگان" و "برنامه ریزی خطی" در مدل سازی مسأله زمان– بندی تولید جریانی

سعید اسفندیاری(نویسنده مسؤول)
کارشناس ارشد مدیریت، مؤسسه آموزش عالی جهاددانشگاهی یزد
Email: Esfandiari.sa@gmail.com
علی مروتی شریف آبادی
استادیار دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری دانشگاه یزد
سید حبیب الله میرغفوری
دانشیار دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری دانشگاه یزد
حمید رضا کدخدازاده
کارشناس ارشد مدیریت، مأسسه آموزش عالی جهاددانشگاهی یزد

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۱ * تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۰

چکیده

هر چند که برنامه ریزی خطی در دنیای واقع کاربردهای زیادی دارد، اما در برخورد با مسائل پیچیده و سخت عدم کارایی خود را نشان داده است. با پیشرفت علم و رویارویی با مشکلات مختلف، تمایل به حل مسائل در حجم زیاد در زمان کوتاه بیشتر شده است. روش های ابتکاری و فوق ابتکاری جدیدترین دستاورد برنامه ریزی غیرخطی در حل این گونه مسائل هستند. یکی از حوزه هایی که نیاز به برنامه ریزی در حجم بالا دارد زمان بندی تولید در مسائل سخت می باشد. این مقاله به مدل سازی و مقایسه دو روش برنامه ریزی خطی و الگوریتم سیستم مورچگان در زمان بندی تولید جریانی منعطف با توجه به متغیرهای تعداد ماشین و سفارش پرداخته است؛ مبنای مقایسه در این پژوهش شاخص های زمان پردازش، تعداد محدودیت، بهینگی و حجم حافظه اشغال شده مربوط به اعداد تصادفی می باشد. در این مقاله از روش پژوهش شبه آزمایشی استفاده شده است، ابزار آزمایش به ترتیب نرم افزارهای سی شارپ و لینگو برای الگوریتم مورچگان و برنامه ریزی خطی است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که مدل برنامه ریزی خطی درتعداد ماشین و سفارش پایین کارایی بالاتری دارد، اما با افزایش ماشین و سفارش با توجه به شاخص های در نظر گرفته شده، الگوریتم سیستم مورچگان کارایی بالاتر خود را نشان می دهد.

واژه‌های کلیدی: زمان بندی، تولید جریانی، الگوریتم سیستم مورچگان، برنامه ریزی خطی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

مهم‌ترین مسأله‌ای که ذهن پژوهشگران و دانشمندان را به خود مشغول کرده است، مسأله زمان می‌باشد. با توجه به گذرا و غیر قابل بازگشت بودن این عنصر ناشناخته، همیشه برای انسان با اهمیت بوده است(Lin et al.,2008). مسأله زمان و زمان-بندی در زندگی روزمره افراد نقش اساسی داشته و بعضی به دنبال نگه‌داشتن زمان و جلوگیری از گذشت آن، و بعضی به دنبال کاهش زمان در فعالیت های روزمره بوده‌اند. زمان یکی از عناصر جدایی ناپذیر صنعت و تولید بوده و مسأله زمان‌بندی در این حوزه خودنمایی می‌کند(Artigues et al., 2009). زمان‌بندی در تولید، خود به انواع متفاوت و با اهداف مختلفی انجام می‌شود. نوع خاصی از زمان‌بندی که از اهمیت بالایی برخوردار است زمان‌بندی تولید جریانی است که در آن هر فعالیت می‌تواند بر روی بیش از یک ماشین پردازش شود و یک ماشین می‌تواند بیش از یک فعالیت را پردازش کند (Neto& Filho, 2011). در اینجا هدف حداقل کردن زمان تکمیل کل[۱] یا یافتن بهترین انجام سفارش‌ها به منظور انجام تمامی سفارش‌ها در سریع‌ترین زمان ممکن[۲](حداقل سازی زمان انجام آخرین سفارش) است؛ اگر چه اهداف دیگری مثل زمان تأخیر[۳]، زمان بیکاری[۴] و زمان جریان کل[۵] نیز می‌توانند مدنظر باشند(Xiangyong et al., 2011). اولویت پژوهش در مورد زمان‌بندی تولید جریانی توسط جانسون[۶](۱۹۵۴) ارائه شد. جانسون یک الگوریتم برای حداقل کردن زمان انجام آخرین کار برای n کار و ۲ ماشین در مسأله زمان بندی تولید جریانی ارائه کرد.وقتی که مسأله زمان‌بندی تولید جریانی وسیع می‌شود با تعداد زیادی فعالیت و ماشین، مسأله بهینه‌سازی ترکیبی مطرح می‌گردد. واضح است که مسائل بهینه‌سازی ترکیبی در کلاس مسائل سخت[۷] قرار دارند و تکنیک‌های حل بهینه تقریبی به این مسائل اشاره دارند. نگرش‌های ابتکاری زیادی برای مسأله زمان‌بندی تولید جریانی ارائه شده است (Yagmahan & Mutlu, 2010). در سال‌های اخیر نگرش‌های فراابتکاری مثل SA[۸]، TS[۹]، GA[۱۰]، PSO[۱۱]، DE[۱۲] و AIS[۱۳]در حل مسائل بهینه ترکیبی، با توجه به عملکرد محاسباتی شان مورد پذیرش قرار گرفته‌اند. به‌طوری که در مطالعه‌های اخیر می‌بینیم که از روش‌های فراابتکاری در حوزه‌ی زمان‌بندی تولید جریانی به‌طور وسیعی استفاده شده است(Artigues et al.,2009; Lin et al., 2008; Yagmahanand Mutlu, 2010; Xiangyong et al.,2011; Neto and Filho, 2011).امروزه نگرش بهینه‌سازی لانه مورچه[۱۴] برای مسائل بهینه‌سازی ترکیبی برتری بیشتری یافته است. چندین الگوریتم ACO توسط استوزل (Stützle, 1998)، ینگ و لیو (ing and Liao, 2004) و راجندران و زیگلر (Rajendran & Ziegler, 2004)در حل مسأله زمان‌بندی تولیدجریانی با هدف حداقل‌سازی زمان انجام آخرین کار ارائه شده است. به غیر از روش‌های فراابتکاری، روش برنامه‌ریزی ریاضی، روش دقیق در حل برنامه‌ریزی زمان‌بندی است، که توانایی زمان‌بندی مسائل با اهداف و محدودیت‌های مختلف را دارد. در سال‌های اخیر برنامه‌ریزی عدد صحیح[۱۵]در الگوریتم‌های کارا، سیستم‌های نرم افزاری قوی و کامپیوترهای پیشرفته رواج زیادی پیدا کرده است(Ebadi & Moslehi, 2011).در این راستا، مقاله حاضر درصدد است تا به مقایسه یکی از روش‌های الگوریتم مورچگان با نام الگوریتم سیستم مورچگان[۱۶]،با برنامه‌ریزی خطی که یکی از روش‌های برنامه ریزی ریاضی می‌باشد، در حوزه تولید جریانی منعطف بپردازد.

---

[1] Total completion time
[2] Makespan
[3] Tardiness
[4] Idletime
[5] Total flowtime
[6] Johnson
[7] NP-hard
[8] Simulated Annealing (SA)
[9] Tabu Search (TS)
[10] Genetic Algorithms (GA)
[11] Particle swarmoptimization (PSO)
[12] Differential evolution (DE)
[13] Artificial immune systems (AIS)
[14] Ant colony optimization (ACO)
[15] Integer programming(IP)
[16] Ant colony system(ACS)

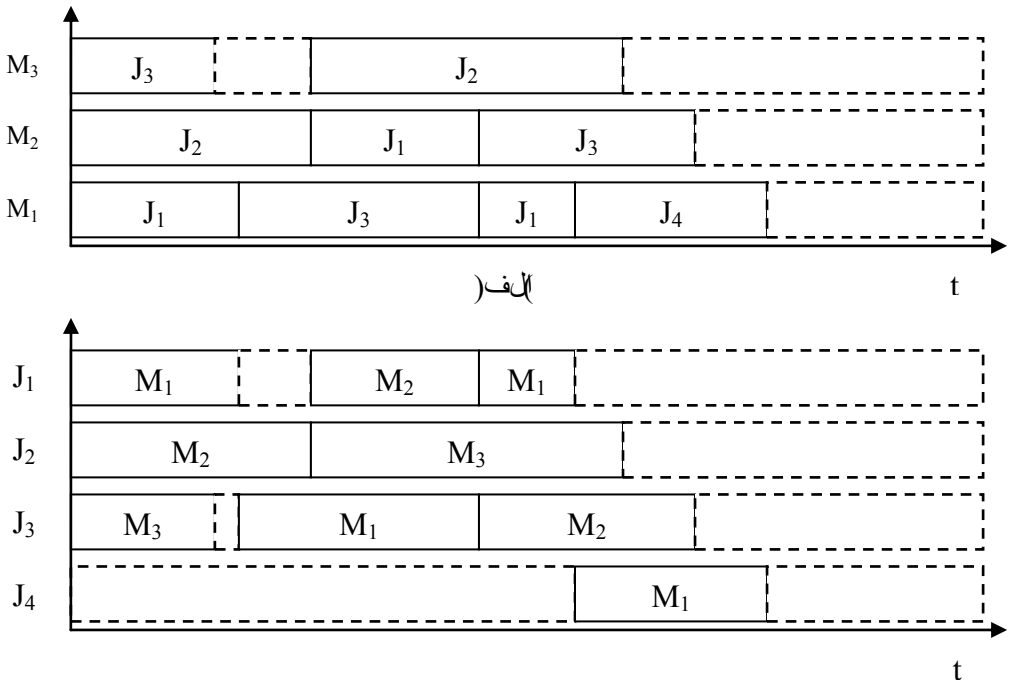
www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

در بخش دوم مقاله مبانی نظری تحقیق (شامل زمان‌بندی تولید جریانی، الگوریتم سیستم مورچگان، برنامه‌ریزی خطی) و بخش-های بعدی به ترتیب روش پژوهش، تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری و پیشنهادات آورده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در نظر بگیرید که m ماشین که آن‌ها را با M_j نشان می‌دهیم (j=۱,...,m) باید n کار که از نماد J_i برای نشان‌دادن آن‌ها استفاده می‌شود (i=۱,...,m) را انجام بدهند. برنامه زمان‌بندی[۱۷] شامل تخصیص یک یا چند فاصله زمانی برای انجام هر کار روی یک یا چند ماشین است. برنامه‌های زمان‌بندی در قالب نمودار گانت نیز ارائه می‌شوند که این نمودارها می‌توانند مبتنی بر کار یا مبتنی بر ماشین باشند (Brucker, 2007). در یک تعریف کلی‌تر هر برنامه زمان‌بندی عبارت است از تخصیص منابع محدود به وظایف در طول زمان. به بیانی دیگر زمان‌بندی یک فرآیند تصمیم‌گیری است که هدفی دارد و آن بهینه سازی یک یا چند هدف است. منابع و وظایف می‌توانند شکل‌های متفاوتی داشته باشند. منابع می‌توانند ماشین‌آلات، خطوط هوایی، واحدهای مورد پردازش در یک محیط محاسبات کامپیوتری و ... باشند. وظایف می‌توانند عملیات مورد نیاز در یک خط تولید، پرواز و فرود در یک فرودگاه، انواع برنامه‌های کامپیوتری و ... باشند (Xiangyong et al., 2011; pindo, 2005).



شکل شماره(۱): نمودار گانت مبتنی بر ماشین (الف) و مبتنی بر کار (ب)

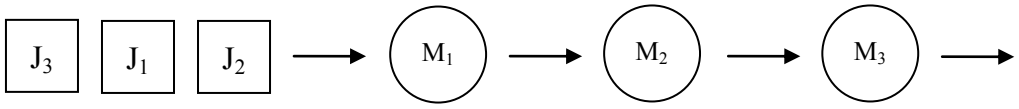
نوع خاصی از مسائل زمان‌بندی مسائل تعیین توالی عملیات[۱۸] هستند. هر توالی عملیات متناظر با یک جایگشت[۱۹] از کارهاست که مشخص کننده ترتیب انجام کارها بر روی هر ماشین است (Pinedo, 2005). این مسأله که توالی عملیات محض نیز نامیده می‌شود به تنهایی یک برنامه زمان‌بندی کامل را تشکیل می‌دهد (Neto & Filho, 2011). تعیین ترتیب انجام عملیات باید به نحوی صورت بگیرد که تابع هدف مسأله را بهینه نماید. مسائل تعیین توالی عملیات زیر مجموعه‌ای از مسائل زمان‌بندی عملیات هستند که ساختار ساده‌تری دارند.مسائل زمان‌بندی و تعیین توالی عملیات به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. مهم-ترین ویژگی که در تقسیم‌بندی این مسائل بکار می‌رود محیط ماشین‌آلات[۲۰] است. چگونگی پیکره‌بندی ماشین‌آلات در این

[17] Scheduling
[18] Sequencing
[19] Permutation
[20] Machine Environment

www.SID.ir
www.SID.ir

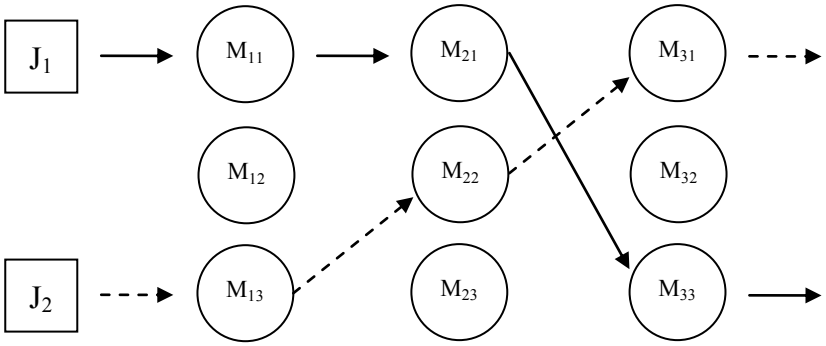
Archive of SID

مسائل به انواع متنوعی از مدل‌های زمان‌بندی عملیات منجر می‌شود که مهمترین آنها عبارتند از مدل‌های تک‌ماشین[۲۱]، ماشین-های موازی[۲۲]، تولید جریانی[۲۳]، تولید کارگاهی[۲۴]، تولید آزاد[۲۵] و تولید ترکیبی[۲۶].در بسیاری از صنایع تولیدی و مونتاژ باید عملیات متفاوتی توسط تعدادی از ماشین‌آلات روی کارها صورت بگیرد. اگر مسیر انجام همه کارها یکسان باشد. همه کارها از ماشین-های یکسان و با ترتیب مشابه عبور کنند، این مدل، مدل تولید جریانی نامیده می‌شود. ماشین آلات به صورت سری قرار دارند و هر کار پس از تکمیل عملیات در یک ماشین به صف انتظار ماشین بعدی می‌پیوندد(Pindo, 2009).



شکل شماره (۲): مسأله تولید جریانی

شکل توسعه یافته تولید جریانی که تولید جریانی منعطف[۲۷] نامیده می‌شود ترکیبی از چند مرحله سری است که هر مرحله شامل تعدادی ماشین آلات موازی است.



شکل شماره (۳): مسأله تولید جریانی منعطف

سیاست های متنوع مدیریتی باعث استفاده از توابع هدف متنوعی در مسائل زمان‌بندی می‌شوند. این توابع با توجه به معیارهای عملکرد متفاوتی تعریف می‌شوند. مهمترین معیارها مرتبط با زمان اتمام، موعد تحویل[۲۸]، هزینه راه‌اندازی[۲۹]، هزینه کالای در جریان ساخت، هزینه موجودی کالای تکمیل شده و هزینه حمل و نقل هستند.

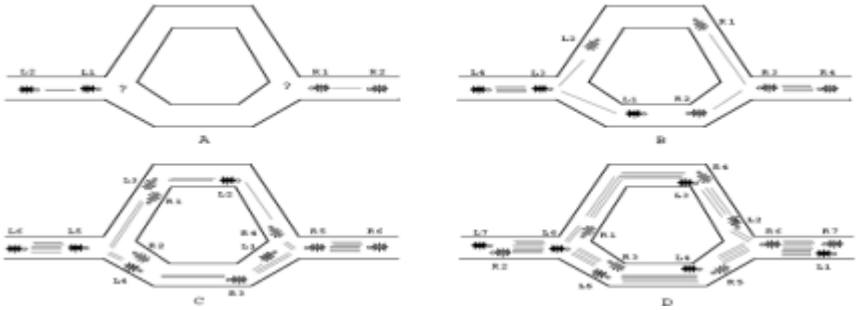
الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه هابرای اولین بار توسط دوریگو[۳۰] و همکارانش به عنوان یک راه حل چند عامله[۳۱] برای مسائل مشکل بهینه‌سازی از جمله فروشنده دوره‌گرد[۳۲] ارائه شد. الگوریتم کلونی مورچه الهام گرفته شده از مطالعات و مشاهدات روی کلونی مورچه‌هاست(Gicquel et al., 2012). این مطالعات نشان داده که مورچه‌ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی ها زندگی می‌کنند و رفتار آنها بیشتر در جهت بقای کلونی است تا درجهت بقای یک جزء از آن یکی از مهمترین و جالب-ترین رفتار مورچه‌ها، رفتار آنها برای یافتن غذا و بویژه چگونگی پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر میان منابع غذایی و آشیانه هاست (Leung et al., 2010). این نوع رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوشمندی توده‌ای است که اخیراً مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. این روش از رفتار مورچه‌ها در پیدا کردن مسیری از خانه به سمت غذا، الهام گرفته شده است(Xing et al., 2010). در جهان واقعی مورچه‌هادر ابتدا به صورت تصادفی سرگردان هستند، و به محض پیدا کردن غذا، با به جای گذاشتن

[21] Single Machine
[22] Parallel Machine
[23] Flow Shop
[24] Job Shop
[25] Open Shop
[26] Mixed Shop
[27] Flexible Flow Shop
[28] Due Date
[29] Setup Cost
[30] Dorigo
[31] Multi Agent
[32] Traveling Sales Person(TSP)

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

ردی از ماده‌ی شیمیایی بنام فرومون[۳۳]به سویکلونی خود باز می‌گردند. اگر دیگر مورچه‌ها این ره(علامت گذارده شده با فرمون) راپیدا می‌کردند، خوشبختانه مجبور نبودند به جستجوی تصادفی خود ادامه دهند، آنها هنگام انتخاب بین دو مسیر بصورت احتمالاتی[۳۴] مسیری را انتخاب می‌کنند که فرومون بیشتری داشته باشد یا به عبارت دیگر مورچه‌های بیشتری قبلا از آن عبور کرده باشند و در عوض دنبال کردن رد (فرمون) و بازگشت به خانه (از همان مسیر رفتن)، باعث تقویت رد فرمونمی‌شود و این در صورتی است که در انتهای مسیر غذایی موجود باشد (Balseiro et al., 2011).در هر صورت، پس از مدتی رد فرمون شروع به بخار شدن می‌کند، بدین‌سان نیروی جذب کننده‌اش کاهش می‌یابد. یک راه کوتاه در مقایسه با یک راه طولانی سریع‌تر پیموده می‌شود و بنابراین بقایای فرمونی که روی زمین باقی مانده، به سرعت تبخیر می‌شود. تبخیر فرمون یک مزیت است چون از همگرایی به راه‌حل بهینه نسبی پیشگیری می‌کند(Momeni, 2011). اگر هیچ‌گاه تبخیری رخ نمی‌داد، مسیر انتخابی مورچه‌های اولیه، همین طور برای مورچه‌هاپیرو خیلی جذب کننده باقی می‌ماند. پس هنگامی که یک مورچه راه خوب (کوتاهی) از کلونی به منبع غذا پیدا کند، دیگر مورچه‌ها خوش‌بختانه از آن مسیر پیروی می‌کنند و باز خورد مثبت[۳۵](تقویت اثر شیمیایی فرمون) سرانجام همه‌ی مورچه‌ها را به پیروی از آن مسیر هدایت می‌کند.ایده‌ی الگوریتم کلونی مورچه این رفتار را با مورچه‌های شبیه سازی شده، پیرامون گرافی که مسأله را نمایش می دهد، تقلید می‌کندتا مسأله را حل کند(Santos et al, 2010.;Sepehri & Rahimi Moghadam, 2007). این الگوریتم نسبت به GAوSA در حالتی که گراف ممکن است به صورت دینامیک تغییر کند، در روش نزدیک‌شدن به راه‌حل بهینه دارای مزیت است.الگوریتم مورچه می‌تواند به طور پیوسته اجرا شودو در لحظه[۳۶]با تغییرات مطابقت پیدا کند.این ویژگی باعث شده است که الگوریتم مورچه موردعلاقه‌ی حل‌کنندگان مسائل مربوط به مسیریابی شبکه و یا سیستم‌های حمل و نقل شهری و مخصوصاً زمان‌بندی تولید باشد (Shil Haoj, 2004; Wang, 2000). شکل ۴ آزمایش مسیرهای نامساوی برای مطالعه رفتار مورچگان را نشان می‌دهد.



شکل شماره(۴): آزمایش مسیرهای نامساوی برای مطالعه رفتار مورچگان

کلیات الگوریتم مورچگان را به صورت زیر می‌توان خلاصه و بیان نمود: مجموعه‌ای از مورچه‌ها به صورت همزمان بر روی گراف مسأله از حالتی به حالت دیگر منتقل می‌شوند. مورچه‌ها برای حرکت بین حالات مختلف مسأله از رویه‌های احتمالی که تابعی از میزان فرمون، اطلاعات ابتکاری (نظیر فاصله بین گره‌ها در مسأله فروشنده رهنورد) و محدودیت‌های مسأله است استفاده نمود و در حین حرکت بر روی یال‌های گراف به تدریج جواب‌هایی را ایجاد می‌کنند. در ضمن از بین مدل های مختلف الگوریتم‌های ACO الگوریتم ACS کارایی بیشتری برای حل مسائل زمانبندی دارد(Schluter et al., 2009). با توجه به توضیحاتی که در بالا داده شد قوانین موجود در الگوریتم اجتماع مورچگان را به صورت زیر می‌توان معرفی نمود.

قاعده تغییر وضعیت در الگوریتم سیستم اجتماع مورچگان بدین گونه است که در این الگوریتم تابع احتمالی حرکت مورچه‌ها در واقع تعیین‌کننده قاعده تغییر وضعیت در الگوریتم سیستم اجتماع مورچگان می‌باشد و به صورت زیر تعریف می گردد. مورچه‌ی k در فعالیتi، فعالیت j در همسایگی خود را با تابع احتمالی زیر انتخاب می کند:

33. Pheromone
34 Statistical
35 positive feedback
36 real time

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

$$j = \begin{cases} \arg\max_{u \in s_k(i)} \left\{ [\tau(i,u)]^{\alpha} [\eta(i,u)]^{\beta} \right\} & if \ q \le q_0 \\ J & otherwise \end{cases} \quad (۱)$$

$\tau(i,u)$: مقدار فرمون آزمایشی در گره (i,u)

$\eta(i,u)$: معکوس موعد مقرر انجام فعالیت(1/T(i,u))

$S_k(i)$: مجموعه ای از فعالیت‌های ممکن که به وسیله مورچه k در فعالیت i پیش رو دارد.

α: پارامتری که به استفاده کننده اجازه می‌دهد اهمیت نسبی فرمون آزمایشی را کنترل کند. $(\alpha > 0)$

β: پارامتری که اهمیت نسبی اطلاعات ابتکاری را تعیین می‌کند$(\beta > 0)$

q: متغیر تصادفی یکنواختی در بازه [0,1]

q0: یک پارامتر است $(0 \le \rho \le 1)$

پارامتر q_0 بیانگر اهمیت نسبی بهره‌برداری در مقابل کاوش است. هر چقدر q_0 کمتر باشد، به جستجوی نقاط جدید (کاوش) بیشتر از جستجو در بین اجزای جواب‌های موجود (بهره برداری) اهمیت داده می‌شود.(Onder Bozdogan & Efe, 2011)

$$P_k(i,j) = \begin{cases} \dfrac{[\tau(i,j)]^{\alpha} . \left[\dfrac{1}{T(i,j)}\right]^{\beta}}{\sum_s [\tau(i,j)]^{\alpha} . \left[\dfrac{1}{T(i,j)}\right]^{\beta}} & if \quad j \in S_k(i) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۲)$$

$T(i,j)$:موعد مقرر انجام فعالیت i در ماشین j ام(مدت زمان میان فعالیت i و فعالیت j)

برای انجام الگوریتم سیستم اجتماع مورچگان نیازمند یک حافظه مشترک هستیم. این حافظه مشترک با ایجاد یک ماتریس فرمون حاصل می‌شود. برای هر مسیری که مورچه می‌تواند انتخاب کند، مقداری فرمون اولیه در نظر گرفته می‌شود و با انتخاب آن مسیر مقداری فرمون به فرمون موجود افزوده می‌گردد (Huang & Lin, 2011).

$$\tau(i,j)^{(k+1)} = \tau(i,j)^{k} + \Delta\tau(i,j) \quad (۳)$$

$\Delta\tau_{ij}$ در این رابطه میزان افزایش فرمون در یال است به این ترتیب در یال‌هایی که انتخاب می‌شوند مقدار فرمون به تدریج بالا می‌رود.

به روز رسانی محلی فرمون:بعد از اینکه هر مورچه مقصد بعدی خود را انتخاب کرد، به وسیله رابطه (۴) فرمون آن به روز رسانی می‌گردد(Xiangyong et al, 2011; sepehri & rahimi moghadam, 2006).

$$\tau(i,j) = (1-\rho l).\tau(i,j) + \rho l.\tau_0 \quad (۴)$$

ρl: فاکتور پایداری محلی فرمون $(0 < \rho < 1)$

1-ρl: بیانگر میزان تبخیر محلی فرمون است.

τ_0 : سطح فرمون اولیه

به روز رسانی سراسری فرمون: به روز کردن جامع فرمون هنگامی که تمامی مورچه ها یک تور کامل را پشت سرگذاشته باشند توسط مورچه ای که بهترین مسیر را طی کرده است انجام می‌گیرد(Neto & Filho, 2011).

$$\tau(i,j) = (1-\rho g).\tau(i,j) + \rho g.\Delta\tau(i,j) \quad (۵)$$

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

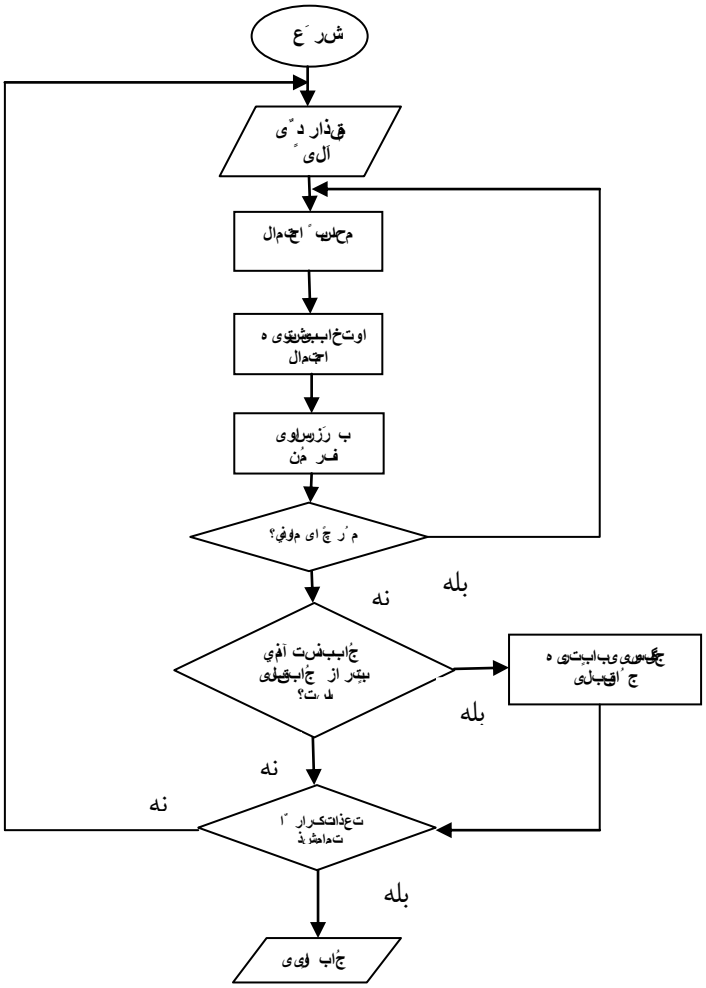
ρg: فاکتور پایداری سراسری فرمون ($0 < \rho < 1$)

1-ρg: بیانگر میزان تبخیر سراسری فرمون است.

$$\Delta\tau(i,j)=\begin{cases}(L_{gb})^{-1} & if \quad (i,j)\in best\ schedule\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۶)$$

L_{gb} : مقدار تابع هدف بهترین زمان بندی در تکرار های جاری (زمان بهترین جواب)

شکل۵ فلوچارت الگوریتم مورچگان را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۵): فلوچارت الگوریتم مورچگان (Sepehri & Rahimi Moghadam, 2007; Dorigo & Caro, 1999)

۱. مقدار دهی اولیه شامل قرار دادن مورچه‌های مصنوعی روی ماشین آلات در مسأله تولید جریانی منعطف می‌باشد.

۲. محاسبه احتمال: هنگامی که می‌خواهیم از یک ماشین به ماشین دیگری حرکت کنیم باید بیشترین احتمال (زمان کمتر) را به وسیله فرمول شماره ۲ بدست بیاوریم. اینزیر برنامه که توسط آن مورچه‌های مصنوعی مسیری را روی گراف به صورت تدریجی و تصادفی بنا می‌کنند. احتمال حرکت از ماشینkبه ماشینL (که یک گره مجاز است) تابعی از میزان فرومون موجود روی کمان (L،K) و مقدار ابتکاری کمان (L،K) است. مقدار ابتکاری نشان می‌دهد که یک مسیر تا چه اندازه مطلوب است به عنوان مثال در مسأله زمان بندی مقدار ابتکاری برابر با معکوس زمان پردازش کار روی ماشین است.

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

۳. بروز رسانی فرمون: وظیفه این زیربرنامه تعدیل مقدار فرومون روی کمان‌هاست فرومون می‌تواند کاهش یا افزایش یابد. کاهش فرومون برای جلوگیری از همگرایی سریع الگوریتم به جواب غیر بهینه صورت می‌گیرد و افزایش فرومون به منظور افزایش جذابیت بهترین مسیر بدست آمده در هر تکرار است.

۴. بدست آوردن بهترین جواب: این زیر برنامه شامل مجموعه ای از فعالیت های مرکزی مثل مقایسه جوابهای بدست آمده توسط مورچه ها یا اجرای یک فرآیند جستجوی محلی است. جدول شماره ۱، انتشارات مهم کاربرد بهینه‌سازی با جمعیت مورچگان در زمان بندی تولید را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱): انتشارات مهم کاربرد بهینه‌سازی با جمعیت مورچگان در زمان بندی تولید جریانی

سال	نویسنده	نوآوری
۱۹۹۱	دوریگو	معرفی بهینه سازی با جمعیت مورچگان
۱۹۹۸	استاتزل	ترکیب MIN-MAX و جستجوی محلی
۲۰۰۲	کینت	ترکیب SA و ACO
۲۰۰۴	اینگ ولیائو	ترکیب ACS و جستجوی محلی
۲۰۰۵	راجندران و زیگلر	ترکیب قانون محاسبه مجموع با MIN-MAX
۲۰۰۷	اینگ و لین	معرفی MHD-ACS
۲۰۰۸	لین و سایرین	معرفی چند نوع فرومون
۲۰۰۹	ژانگ و سایرین	استفاده از مشابهت برای بهبود جوابها
۲۰۱۰	یاگماهان و ینیسی	ترکیب ACO و استراتژی جستجوی محلی
۲۰۱۱	لی و همکاران	مقایسه ۳ فرمول ریاضی
۲۰۱۱	نتو و فیلهو	حداقل سازی زمانبندی انبارهای میانگیر
۲۰۱۱	ژووسایرین	استفاده از فرومون‌های رنگی

برنامه ریزی خطی[37] یکی از کاربردی ترین و مؤثرترین روشهای بهینه سازی است. برنامه ریزی خطی توسط جئورج دانتزینگ[38] در سال ۱۹۴۷ ابداع شد. برنامه ریزی به معنی برنامه نویسی کامپیوتر نیست بلکه شما می توانید با حل مسأله برنامه ریزی خطی با کامپیوتر به جواب برسید. برنامه‌ریزی خطی، یا همان بهینه‌سازی خطی، روشی در ریاضیات است که به پیدا کردن مقدار کمینه یا بیشینه از یک تابع خطی روی یک چندضلعی محدب می‌پردازد. این چندضلعی محدب در حقیقت نمایش نموداری تعدادی محدودیت از نوع نامعادله روی متغیرهای تابع است. به بیان ساده‌تر به وسیله برنامه‌سازی خطی می‌توان بهترین نتیجه (مثلاً بیشترین سود یا کمترین هزینه) را در شرایط خاص و با محدودیت‌های خاص بدست آورد. محل اصلی استفاده برنامه‌ریزی خطی در اقتصاد است، اما در مهندسی نیز کاربردهای فراوانی دارد. می‌توان گفت حدود یک‌چهارم کل محاسبات علمی که بر روی رایانه انجام گرفته‌است، به برنامه‌ریزی خطی و مشتقات آن مربوط می‌شود.

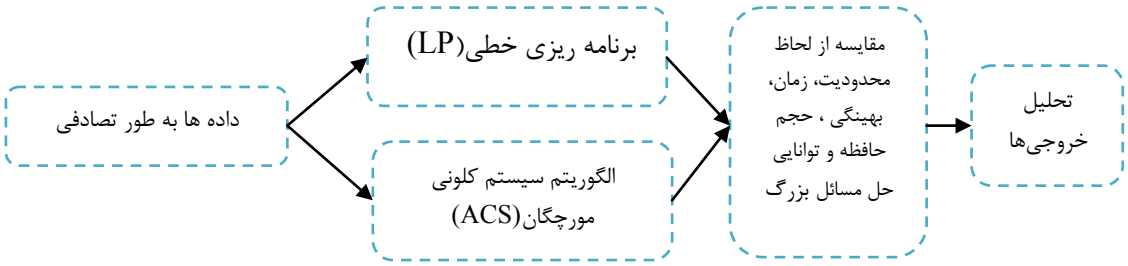
۲- مواد و روشها

در این پژوهش به منظور مقایسه یک روش فراابتکاری و یک روش کلاسیک، داده‌های تصادفی به الگوریتم سیستم مورچگان و برنامه‌ریزی خطی داده شد، و از لحاظ تعداد محدودیت‌های مدل، زمان، بهینگی، حجم حافظه اشغال شده و توانایی حل مسائل در حجم بزرگ مورد مقایسه قرار گرفت.

[37] Linear Programming (LP)
[38] George Dantzing

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

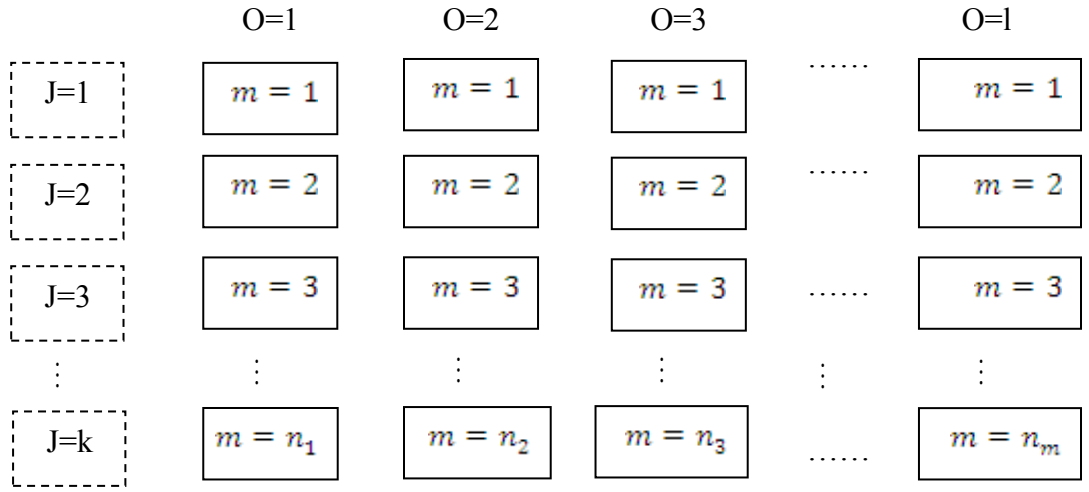


شکل شماره (۶): روش پژوهش

تجزیه و تحلیل داده‌ها بدین صورت ارائه می گردد:

شکل شماره (۷) مربوط به تولید جریانی منعطف در زمان‌بندی است، و همانطور که در این شکل نشان داده شده است، مدل برنامه‌ریزی خطی نوشته شده بر اساس K سفارش و L عملیات است. که در هر عملیات ماشین‌های موازی وجود دارند که زمان پردازش آن‌ها متفاوت است.

شکل شماره(۷): تولید جریانی منعطف



در شکل ۷، J نشان‌دهنده سفارش، O نشان‌دهنده مراحل و m نشان‌دهنده ماشین می‌باشد. فرمول‌های ۷ تا ۱۴ برنامه‌ریزی خطی نوشته شده مربوط به شکل ۷ را نشان می‌دهد.

$$\text{Min } z = H1 * C_{max} + H2 * \sum_{j=1}^{k} C_j \qquad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{k}\sum_{o=l}^{l}\sum_{m=1}^{n_o} T_{jom} + t_{jom} - C_{max} \le M(1 - d_{jom}) \qquad (۸)$$

$$\sum_{j=1}^{k}\sum_{o=l}^{l}\sum_{m=1}^{n_o} T_{jom} + t_{jom} - C_j \le M(1 - d_{jom}) \qquad (۹)$$

$$\sum_{j=1}^{k-1}\sum_{j'=j+1}^{k}\sum_{o=1}^{l}\sum_{m=1}^{n_o} T_{jom} + t_{jom} - T_{j'om} \le M(y_{jj'om}) \qquad (۱۰)$$

www.SID.ir

$$\sum_{j=1}^{k-1}\sum_{j'=j+1}^{k}\sum_{o=1}^{l}\sum_{m=1}^{n_o} T_{j'om} + t_{j'om} - T_{jom} \le M(1 - y_{jj'om}) \qquad (۱۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{j=1}^{k}\sum_{o=l}^{l}\sum_{m=1}^{n_o} T_{jom} + t_{jom} - A_j \leq M(1 - d_{jom})$$

J: نماد اختصاری کار ؛ k: تعدادکارها

O: نماد اختصاری عملیات ؛ l: تعداد عملیات‌ها

m: نماد اختصاری ماشین ؛ n_o: تعداد ماشین‌ها در عملیات o

H1 و H2 : ضریب‌های عددی M : عدد بسیار بزرگ

$C_{\max}$:زمان اتمام آخرین کار در آخرین عملیات C_j: . زمان اتمام کار j در آخرین عملیات

T_{jom} : زمان ورود کار j در عملیات o به ماشین m. t_{jom}: زمان انجام عملیات o توسط ماشین m بر روی کار j .d_{jom}:

متغیر صفر و یک. $d_{jom} = 0$: کار j در عملیات o توسط ماشین m انجام نمی‌گیرد.

$d_{jom} = 1$: کار j در عملیات o توسط ماشین m انجام می‌گیرد.

$y_{jj'om}$: متغیر صفر ویک. $y_{jj'om} = 0$:یعنی کار jزودتر از j' به ماشین m از عملیات o می‌رود.

$y_{jj'om} = 1$:یعنی کار j' زودتر از j به ماشین m از عملیات o می‌رود.

A_j : زمان تعیین شده برای اتمام کار j توسط سفارش دهنده

توجه شود که تعداد ماشین‌ها در هر عملیات ممکن است متفاوت باشد و n_o (تعداد ماشین‌ها در عملیات o) تعیین کننده این تعداداست.

فرمول ۷: تابع هدف . در مسأله زمان‌بندی هدف می‌تواند به دو صورت تعریف شود:۱–به حداقل رساندن زمان انجام آخرین کار ۲–به حداقل رساندن مجموع زمان تمام کارها. در تابع هدف نوشته شده اگرضریبH1 از H2 خیلی بزرگتر باشد هدف اول و اگرضریب H2 از H1خیلی بزرگتر باشد هدف دوم برآورده می‌شود.

فرمول۸: محدودیتی است که زمان انجام آخرین کار$(C_{\max})$ را مشخص می‌کند.

فرمول ۹: محدودیتی است که زمان انجام تک تک کارهاC_1تاC_k را نشان می‌دهد.

فرمول ۱۰ و ۱۱: محدودیت عدم تداخل زمانی. از آن‌جا که هر ماشین در یک زمان واحد فقط بر روی یک کار می‌تواند فعالیت انجام دهد، از این دو محدودیت برای عدم تداخل زمانی کارهای متفاوت بر روی یک ماشین در نظر گرفته شده است. اگر$y_{jj'om} = 0$ باشد محدودیت ۱۰ برقرار و محدودیت ۱۱ زاید می‌شود و این بدین معنی است که کار jزودتر از کار j' وارد ماشین m از عملیاتo می‌شود واگر$y_{jj'om} = 1$ باشد محدودیت ۱۰ زاید و محدودیت ۱۱ برقرار می شود و این بدین معنی است که کارj'زودتر از کار j وارد ماشین m از عملیات o می‌شود.

فرمول۱۲: محدودیت توالی. از آنجا که هر کار باید از تمام عملیات‌ها به ترتیب عبور کند، این محدودیت باعث می‌شود که کار j ابتدا از عملیات o عبور کند، سپس وارد عملیات o' (که عملیات بعد ازo است) به شود.

فرمول۱۳: محدودیت زمان تحویل. این محدودیت به منظور انجام سفارش در زمان A_j که توسط سفارش‌دهنده‌ی کار j تعیین می‌گردد در نظر گرفته شده است.

فرمول۱۴: این محدودیت برای انجام هر کار در هر عملیات بر روی یک ماشین در نظر گرفته شده است.

الگوریتم سیستم مورچه استفاده شده در این پژوهش شامل ۱۰۰۰۰ مورچه، ترشح فرمون ۰/۱ درصد، تبخیر فرمون ۰/۹ درصد و اعداد تصادفی مورد استفاده، اعداد صحیح بین ۰تا ۴ است.

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره(۲): مقایسه برنامه ریزی خطی و الگوریتم سیستم مورچگان

ترتیب ماشین	زمان حداکثر در الگوریتم مورچگان	زمان حداکثر در برنامه‌ریزی خطی	تعداد محدودیت در برنامه‌ریزی خطی	زمان پردازش (ms) در الگوریتم سیستم مورچگان	زمان پردازش (ms) در برنامه‌ریزی خطی	ماشین	محصول
	۱۳	۱۳	۷۰	۰	۰	۲	۵
	۱۰	۱۰	۹۵	۱	۰	۳	۵
	۶	۶	۱۴۰	۳	۵	۴	۵
	۴	۴	۱۶۵	۵	۹	۵	۵
	۲۴	۲۴	۲۴۰	۵	۳	۲	۱۰
	۲۱	۲۱	۳۷۰	۷	۷	۳	۱۰
	۱۴	۱۴	۴۶۰	۹	۱۷	۴	۱۰
	۱۲	۱۲	۵۷۰	۱۲	۳۱	۵	۱۰
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۹-۷-۴ [۳۹]	۵۱	-	۲۲۴۷۰۰	۳۲	۱۰۵۳۰۰۰	۲۰	۱۰۰

اعداد ذکر شده در ستون تعداد محدودیت در شکل ۷با توجه به روابط زیر به‌دست آمده است.

تعداد محدودیت = محدودیت نشان‌دهنده زمان انجام آخرین کار[۴۰] + محدودیت نشان‌دهنده زمان انجام تک تک کارها[۴۱] + محدودیت عدم تداخل دو سفارش بر روی یک ماشین[۴۲] + محدودیت توالی[۴۳] + محدودیت زمان تحویل[۴۴] +محدودیت عدم ورود هم زمان یک سفارش بر روی دو یا چند ماشین[۴۵]

$$\text{محدودیت‌تعداد} = \text{سفارش‌تعداد} * \left(\text{آخرسطح‌ماشین‌هایتعداد} + \text{سفارش‌تعداد} * \text{آخر سطح ماشین‌هایتعداد}\right) * \text{تعداد ماشین}$$

$$+ \left(\text{تعداد سطح‌ماشین} \; n * \ldots * \text{ماشین‌تعداد سطح } 2 * \text{ماشین‌تعداد سطح } 1\right) * \text{سفارش‌تعداد} + 2 * \binom{\text{تعداد‌سفارش}}{2}$$

تعداد سطوح * + تعداد ماشین‌های سطح آخرتعداد سفارش * تعداد سفارش

جدول شماره (۳): نتیجه مقایسه دو روش ACS وLP

[۳۹]. به معنی این است که در سطح اول ۹ ماشین، در سطح دوم ۷ ماشین و در سطح سوم ۴ ماشین قرار گرفته است.

[۴۰]. فرمول ۸

[۴۱]. فرمول ۹

[۴۲]. فرمول ۱۰ و ۱۱

[۴۳]. فرمول ۱۲

[۴۴]. فرمول ۱۳

[۴۵]. فرمول ۱۴

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

روش	پاسخ خروجی	حجم حافظه مورد نیاز	زمان انجام محاسبات	حل مسائل در ابعاد بزرگ	خطا
ACS	احتمالاً بهینه سراسری	تقریباً برابر با LP	بسیار کمتر از LP	کارا	تقریباً برابر با LP
LP	قطعا بهینه سراسری	تقریباً برابر با ACS	بسیار بیشتر از ACS	ناکارا	تقریباً برابر با ACS

مدل برنامه ریزی خطی توسط نرم‌افزار LINGO، نسخه ۱۱حل شده و برنامه الگوریتم سیستم مورچگان نیز با استفاده از زبان برنامه نویسی C# نوشته شده است. مدل ریاضی و برنامه‌ها بر روی رایانه شخصی PENTIUM 4 با ۵۱۲ مگا بایت حافظه اصلی اجرا شده است.

۳- نتایج و بحث

یکی از مسائلی که فراروی برنامه‌ریزان خط تولید قرار گرفته است، برنامه‌ریزی زمان‌بندی تولید، مخصوصاً زمان‌بندی تولید جریانی منعطف با تعداد سفارش و ماشین در حجم زیاد می‌باشد. روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی کلاسیک از روش‌هایی بوده‌اند که در بسیاری از مسائل از جمله زمان‌بندی تولید مورد استفاده قرار می‌گرفتند. ولی با توجه به حساسیت آن به تعداد سفارش و ماشین‌ها (به دلیل زیاد شدن تعداد متغیرها و تعداد محدودیت‌ها) استفاده از این روش برای حل مسائلی که دارای اندازه‌ی بزرگ می‌باشند، از لحاظ تعداد محدودیت‌های مدل، زمان پردازش، حجم حافظه اشغال شده و خطا، مقرون به صرفه نبوده و بهتر است از روش‌های فراابتکاری مثل الگوریتم سیستم مورچگان که توانایی بالایی در حل این‌گونه مسائل دارند استفاده نمود. همان‌طور که جدول ۱و ۲ نشان می‌دهد، می‌بینیم که روش الگوریتم سیستم مورچگان روشی توانا نسبت به برنامه‌ریزی خطی در حل مسائل سخت در زمان‌بندی تولید جریانی منعطف است.

تحقیقات انجام شده مشابه در سال‌های اخیر نیز استفاده از این روش را تأیید می‌کنند. پژوهشی که توسط سپهری و جعفری(Sepehri & Jafari, 2004) که برای جمع آوری به هنگام قطعات مورد نیاز یک مؤسسه تولیدی از تأمین‌کنندگان قطعات پرداختند به این نتیجه رسیدند که برای مسائل با تعداد تأمین‌کنندگان محدود،کیفیت جواب‌های الگوریتم مورچگان به جواب‌های بهینه حاصل از مدل ریاضی بسیار نزدیک می‌باشد، ولی در حجم بالا کارایی بهتری دارد. یاگماهان و ینسی (Yagmahan & Yenisey, 2010) و نتو و فیلهو (Neto & Filho, 2011) الگوریتم سیستم مورچگان را روشی بسیار مناسب برای زمان‌بندی تولید جریانی منعطف با تعداد ماشین و سفارش‌های زیاد معرفی و برای حل مسائل به صورت چند هدفه نیز از آن استفاده کرده‌اند. نقایصی نیز بر این روش در بعضی از حوزه‌ها نشان داده شده است، به عنوان نمونه در پژوهشی که توسط نصیری و ابراهیمی (Ebrahimi & Nasiri, 2009)در مورد حل مسأله ورود و خروج واحدهای نیروگاهی انجام گرفت روش برنامه‌ریزی پویا را روشی توانمندتر از الگوریتم اجتماع مورچگان در حل مسأله ورود و خروج واحدهای نیروگاهی معرفی کرده است.

همان‌طور که پژوهش حاضر و پژوهش اخیر نشان می‌دهند الگوریتم سیستم مورچگان می‌تواند بیشتر توسعه یابد وقتی که جستجوی محلی لازم می‌شود و این نقطه قوت الگوریتم در برابر دیگر روش‌ها جستجو برای این‌گونه مسائل می‌باشد.چون در هر مرحله با به‌دست آمدن جواب بهتر، آن جواب در همان لحظه جایگزین جواب‌های قدیمی می‌شود و این فرایند تا آنجا ادامه می‌یابد تا بهترین جواب بدست آید.

نتیجه این تحقیق می‌تواند برای اغلب شرکت‌های تولیدی وخدماتی که به‌دنبال زمان‌بندی و هر گونه مسأله‌ای شبیه این مسأله هستند، قابل استفاده باشد. الگوریتم سیستم مورچگان می‌تواند برای مسائل چند هدفه و تک هدفه در مسائل مشابه مانند زمان‌بندی تولید کارگاهی، تولید سلولی و تولید منعطف مورد استفاده قرار گیرد. همچنین برای صرفه‌جویی در زمان، کاهش خطا و قابل استفاده بودن سیستم‌های معمولی این‌گونه روش‌ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

۴- منابع

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

1- Artigues, C., & Gendreau M., & Rousseau, L.M., Vergnaud A. (2009). Solving an integrated employee timetabling and job-shop scheduling problem via hybrid branch-and-bound. Computers & Operations Research, 36(8), 2330 – 2340.
2- Balseiro, S.R., & Loiseau, I., & Ramonet J. (2011). An Ant Colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the Time Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows. Computers & Operations Research, 38(2), 954−966.
3- Brucker, P. (2007). Scheduling Algorithms, 15(1), Heidelberg.
4- Dannenbring, D. G. (1977). An evaluation of flowshop sequencing heuristics. Management Science, 23(11), 1174–1182.
5- Dorigo, M., & Gambardella, L. M. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 1(1), 53-63.
6- Dorigo, M., & Di Caro, G. (1999). The ant colony optimization meta-heuristic. In D.Corne, M. Dorigo, & F. Glover (Eds.), New ideas in optimization .London, UK: McGraw-Hill, 11-32.
7- Ebadi, A., Moslehi, G. (2011). Mathematical models for preemptive shop scheduling problems. Computers & Operations Research, 39(7), 1605-1614
8- Gicquel, C. & Hege, L. & Minoux, M., & van Canneyt W. (2012). A discrete time exact solution approach for a complex hybrid flow-shop scheduling problem with limited-wait constraints. Computers & Operations Research, 39629–636.
9- Gupta, J. N. D. (1971). An improved combinatorial algorithm for the flowshop scheduling problem. Operations Research, 19, 1753–1758.
10- Huang, Y.M., & Lin J.C. (2010). A new bee colony optimization algorithm with idle-time-based filtering scheme for open shop-scheduling problems. Expert Systems with Applications, 38(5), 5438-5447.
11- Johnson, S. M. (1954). Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. Naval Research Logistics Quarterly, 1(1), 61–68.
12- Leung, C.W., & Wong T.N., & Mak K.L., & Fung R.Y.K. (2010). Integrated process planning and scheduling by an agent-based ant colony optimization. Computers & Industrial Engineering, 59(1), 166–180.
13- Lin, H. T., & Lee, H. T., & Pan, W.J. (2008). Heuristics for scheduling in a no-wait open shop with movable dedicated machines. Int. J. Production Economics, 111, 368–377.
14- Mehregan MR. (2002). Performance evaluation of organizations using quantitative data envelopment analysis. Tehran: Tehran University, 147-53.
15- Mohamadi, A., & Jamalnia, A. (2007). Ant colony and its application in preventive maintainance. shahed university.
16- Momeni, M. (2011). New topic in operation research. Tehran. Tehran University.
17- Nasiri, F., & Ebrahimi, A. (2009). Evaluation of ant colony for solving defects and export overruns. Twenty- fourth international conferences on electricity.
18- Neto, T. & Filho, G. (2011). An Ant Colony Optimization approach to a permutational flow shop scheduling problem with outsourcing allowed. Computers & Operations Research, 38(9), 1-19.
19- Onder Bozdogan, A., & Efe, M. (2011). Improved assignment with ant colony optimization for multi-target tracking. Expert Systems with Applications, 38(8), 9172-9178.
20- Pinedo, M. (2005). Planning and Scheduling in Manufacturing and Services .Springer, 5(1), 10-17.
21- Pinedo, M. (2009). Planning and Scheduling in Manufacturing and Services Second Edition. Springer, New York, Verlag.

www.SID.ir
www.SID.ir

Archive of SID

22- Santos, L., & Coutinho-Rodrigues, J. (2010) .Current J.R. An improved ant colony optimization based algorithm for the capacitated arc routing problem. Transportation Research Part, 44(4), 246–266.
23- Schluter, M., & Egea, J.A., & Banga, J.R. (2009). Extended ant colony optimization for non-convex mixed integer nonlinear programming. Computers & Operations Research, 36(7), 2217 – 2229.
24- Sepehri, M.M., & Rahimi moghadam, M. (2007). Ant colony and its application. farhang menhaj puplication.Tarbiyat modares university.
25- Shil, H. Z., & XuG, J. (2004) .Ant Colony Optimization Algorithm with Random Perturbation behavior to the Problem of Optimal Unit Commitment with Probabilistic Spinning Reserve Determination. Elsevier Electric, Power Systems Research. 69, 295-303.
26- Wang, Y., & Xie, J. (2000).Ant Colony Optimization for Multicast Routing. The 2000 IEEE Asian Pacific Conference on Circuits and Systems, IEEE Apcc as 2000, 54-57.
27- Widmer, M., & Hertz, A. (1989). A new heuristic method for the flowshop sequencing problem. European Journal of Operational Research, 41(2), 186–193.
28- Xiangyong Li, M.F., & Baki, Y.P. (2011). Flow shop scheduling to minimize the total completion time with a permanently present operator: Models and ant colony optimization metaheuristic. Computers & Operations Research 38(1), 152–164.
29- Xing, L.N, & Chen, Y.W., & Wang, P. & Zhao, Q.S., & Xiong, J. A. (2010). Knowledge-Based Ant Colony Optimization for Flexible Job Shop Scheduling Problems. Applied Soft Computing, 10(3), 888–896.
30- Yagmahan, B., & Mutlu, Y. M. (2010). A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem. Expert Systems with Applications 37(2), 1361–1368.

www.SID.ir
www.SID.ir