



## Integrated Model of Production Scheduling and Direct Delivery with Capacitated Vehicles in Flow Shop System

Ali Cheraghalikhani, Shahriyar Mohammadi & Reza Ramezani\*

*Ali Cheraghalikhani, Department of Industrial Engineering, K.N. Toosi University of Technology.*

*Shahriyar Mohammadi, Department of Industrial Engineering, K.N. Toosi University of Technology.*

*Reza Ramezani, Department of Industrial Engineering, K.N. Toosi University of Technology.*

### Keywords

Flow shop scheduling,  
Job delivery,  
Integrated modeling  
approach,  
Imperialist competitive  
algorithm,  
Taguchi method,  
Direct delivery method.

### ABSTRACT

*In traditional scheduling problems, the production operations are scheduled regardless of distribution decisions. However, in many practical environments (such as food, computer industries etc.), finished products are delivered to customers immediately after production stages without any further inventory storage. Therefore, in this paper, an integrated scheduling model of production and direct delivery via available capacitated vehicles is investigated. The objective in this model is to minimize maximum returning time (MRT), which is the time that last vehicle delivers last order to relevant customer and returns to production center. An imperialist competitive algorithm was proposed for solving model by adding some policies in ICA steps. Furthermore, for reached to sustainable solutions, parameter setting based of Taguchi method was done. At the end, solving algorithm and integrity of proposed model are evaluated by some random benchmarks. Effectiveness of algorithm and efficiency of integrity were shown in computational results.*

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 2, All Rights Reserved



## زمان بندی یکپارچه تولید در سیستم جریان کارگاهی و تحویل محصول به مشتریان با روش ارسال مستقیم با محدودیت ظرفیت حمل

علی چراغعلی‌خانی، شهریار محمدی و رضا رمضانیان\*

### چکیده:

در مسائل زمانبندی تولید، فرایندهای تولیدی بدون در نظر گرفتن تصمیمات مربوط به ارسال و تحویل محصول نهایی برنامه ریزی می‌شوند. در صورتی که در بسیاری از کاربردهای واقعی (نظیر صنایع غذایی، صنایع کامپیوتری و غیره) محصولات نهایی بایستی بلافاصله پس از تولید و بدون نیاز به نگهداری در انبار به مشتری تحویل داده شوند. در این مقاله مدل یکپارچه زمان بندی تولید در سیستم جریان کارگاهی و تحویل محصول به مشتری با روش ارسال مستقیم به کمک وسایل نقلیه محدود و با ظرفیت محدود با هدف حداقل نمودن بیشترین زمان بازگشت وسیله نقلیه ارائه شده است. به منظور حل مدل پیشنهادی از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) با اضافه کردن سیاستهایی در گامهای الگوریتم استفاده شده و با هدف دستیابی به جوابهای پایدارتر، رویکردی مبتنی بر روش تاگوچی برای تنظیم پارامترها انجام شده است. در پایان نیز به کمک تولید نمونه‌های تصادفی، الگوریتم حل و همچنین یکپارچه سازی مدل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. نتایج محاسباتی کارایی بالای الگوریتم و اثربخشی مطلوب رویکرد یکپارچه را نشان می‌دهد.

### کلمات کلیدی

زمان بندی تولید در سیستم جریان کارگاهی، تحویل محصول، رویکرد یکپارچه، الگوریتم رقابت استعماری، روش تاگوچی، روش ارسال مستقیم با ظرفیت محدود.

### ۱. مقدمه

در تفکر مدیریت سنتی سازمان‌ها خود را به عنوان موجودیت‌های مستقلی در فضای رقابتی فرض کرده و به منظور بقا و تداوم خود به تنهایی با سازمانهای دیگر به رقابت می‌پرداختند، در صورتی که امروزه این تفکر سنتی جوابگوی نیازهای جدید سازمان‌ها نمی‌باشد. در محیط رقابتی فعلی، موفقیت هر سیستم به توانایی آن در مدیریت یکپارچه سازی شبکه پیچیده روابط کاری با سازمان‌های مرتبط با خود بستگی دارد. در همین راستا مدیریت زنجیره تامین یکی از موضوعات مهمی است که در سالهای اخیر توسط محققین و فعالان حوزه مدیریت عملیات مورد توجه قرار

تاریخ وصول: ۹۴/۰۸/۲۶

تاریخ تصویب: ۹۵/۰۸/۱۱

علی چراغعلی‌خانی، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران؛ [ali\\_cheraghali@kntu.ac.ir](mailto:ali_cheraghali@kntu.ac.ir)  
شهریار محمدی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران؛ [mohammadi@kntu.ac.ir](mailto:mohammadi@kntu.ac.ir)  
\*نویسنده مسئول مقاله: رضا رمضانیان، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران؛ [ramezian@kntu.ac.ir](mailto:ramezian@kntu.ac.ir)

گرفته است [۱].

زنجیره تامین تمامی تعاملات بین تامین کننده، تولید کننده، توزیع کننده و مشتری جهت افزودن ارزش به محصول از ابتدا تا انتها در زنجیره تامین را در نظر می‌گیرد. همین امر باعث ایجاد هماهنگی گسترده بین اجزای مختلف زنجیره تامین شده و همین هماهنگی باعث افزایش توجه به مزایای عملیاتی مدل‌های یکپارچه در زنجیره تامین شده است. در تحقیقات انجام شده تاکید فراوان به اهمیت هماهنگی سازنده محصولات با مشتریان نهایی به منظور افزایش رضایتمندی مشتری شده است [۲].

در زمانبندی تولید بحث تخصیص کارها به ماشین‌آلات، ترتیب انجام کارها در ماشین‌ها و زمان شروع و پایان کارها در هر ماشین مطرح شده و بر اساس نوع مساله به توابع هدف مختلفی پرداخته می‌شود. سفارشات بعد از اتمام فرایندهای تولیدی به کمک وسایل نقلیه به مشتری مربوطه ارسال و تحویل می‌شوند. لذا در برنامه‌ریزی تحویل، سفارشات ارسالی با وسایل نقلیه به سوی مشتریان، تعداد کارهای موجود در هر سفر، زمان حرکت و رسیدن هر وسیله و نیز مسیر هر وسیله در هر سفر تعیین می‌شود. در

زمانبندی تولید تک ماشین و مسیریابی وسیله نقلیه را با هدف مجموع وزنی کارهای تاخیری به همراه هزینه ارسال ارائه و حل نمودند. در سال‌های اخیر نیز لی [۲۱]، احمدی زار و فرهدی [۲۲] و لیو و لو [۲۳] در فضای تک ماشین به تحقیق پرداختند. در تمامی تحقیقات اشاره شده سیستم تولیدی تک ماشین و روش ارسال و تحویل نیز ارسال مستقیم و یا مسیریابی در نظر گرفته شده اند.

از طرفی وگینگر [۲۴] مدل یکپارچه خود را برای ماشینهای موازی ارائه نموده و روشی ابتکاری پیشنهاد نموده است. ونگ و چنگ [۲۵] نیز مدلی یکپارچه برای زمان بندی ماشینهای موازی و تحویل ارائه نمودند. سفارشات در مطالعه سو و همکاران [۱۷] توسط دو ماشین موازی پردازش شده و به یک مشتری تحویل داده میشود. لو و همکاران [۲۶] مطالعه مشابهی را در تولید دسته ای پیشنهاد نمودند. آریچ [۲۷] مدل یکپارچه‌ی برای تولید ماشینهای موازی و تحویل با وسیله نقلیه با ظرفیت محدود و پنجره زمانی ارائه نمود. لیو و لو [۲۸] نیز مدل یکپارچه برای دو ماشین موازی ارائه و حل نمودند. ون و ژنگ [۲۹] تولید با M ماشین موازی و ارسال به یک مشتری را برای هدف مجموع زمان های بازگشت ارائه نمودند. یوان و همکاران [۳۰] برای اولین بار روی یکپارچه سازی تولید و تحویل با سیستم جریان کارگاهی با دو ماشین تولیدی و ارسال با محدودیت های ارسال به مشتری را پیشنهاد نمودند. پان و همکاران [۳۱] نیز زمان بندی در شرایط جریان کارگاهی با دو ماشین و ارسال بعد از اتمام تولید را بررسی نمودند. در تمامی مطالعات بررسی شده فضای تولیدی مدل‌های یکپارچه تک ماشین، ماشینهای موازی و در نهایت جریان کارگاهی با دو ماشین می باشند. همانطور که مشخص است در هیچ یک از مقالات مرور شده، هیچ تحقیقی بر روی ارائه مدل یکپارچه تولید و توزیع که در فضای تولیدی جریان کارگاهی با M ماشین می باشد انجام نشده است در حالی که در تحقیقات آتی پیشنهاد شده است. در صورتی که این فضای تولیدی بسیار مرسوم و پرکاربردی در پژوهش ها و در عمل توسط صنعتگران میباشد. عمده دلیل این عدم توجه به این فضا سختی بالای موجود در مدل های زمان بندی تولید می باشد. از طرفی در صورتی که فاصله محل قرار گیری مشتریان از همدیگر به قدری زیاد و قابل توجه باشد که ارسال یک وسیله برای رساندن سفارشات چند مشتری به صورت همزمان مقرون به صرفه نباشد از روش ارسال مستقیم استفاده می شود. در روش ارسال مستقیم هر وسیله نقلیه تنها به یک محل مشتری خدمات ارائه می دهد. از همین رو در این مقاله مدل یکپارچه زمان بندی تولید در سیستم جریان کارگاهی با M ماشین و تحویل به روش ارسال مستقیم با وسائل نقلیه با ظرفیت محدود پیشنهاد شده است. تابع هدف نیز بیشترین زمان بازگشت میباشد

زمینه زمانبندی تولید و برنامه ریزی تحویل محصول نهایی به مشتری، بسیاری از محققان در حجم وسیعی به این دو مقوله بدون در نظر گرفتن دیگری پرداخته اند. به بیان دقیق تر تحقیقات با حجم کمتری روی در نظر گرفتن و بهینه سازی یکپارچه زمانبندی تولید و حمل و تحویل کارها به مشتری انجام شده است. در صورتی که جدا در نظر گرفتن این دو مقوله به نتایج مطلوب نمیرسد [۲]. این در صورتی است که حدود ۳۰٪ هزینه کالای فروخته شده را هزینه های لجستیک تشکیل می دهند و به منظور رسیدن به کارایی بهتر، این دو فعالیت بایستی یکپارچه بررسی و برنامه ریزی شوند [۳]. در مدل‌های یکپارچه، زمان تکمیل به زمان تحویل آخرین سفارش به آخرین مشتری و بازگشت وسیله مربوطه به محل تولیدی گفته میشود. مرکز تولیدی بعد از دریافت سفارش از مشتریان، آنها را توسط ماشین ها و ایستگاههای تولیدی مورد پردازش قرار داده و بدون نگهداشتن آنها در انبار میانی به مشتری نهایی رهسپار میکند. در ادامه مرور بر مدل‌های یکپارچه تولید و توزیع ارائه شده است.

مفهوم یکپارچه سازی زمان بندی تولید و توزیع اولین بار توسط پاتس [۴] در سال ۱۹۸۰ بیان شده است. هال و شمویس [۵] برنامه زمان بندی سیستم تک ماشین ی را با در نظر گرفتن تعداد کافی وسیله حمل که بلافاصله محصول نهایی را به مشتری تحویل می دادند بررسی نمودند. سپس در مطالعات هرمان و لی [۶]، یوان [۷]، چن [۸] و چنگ و همکاران [۹] بعد از اتمام فرایند های تولیدی، محصول نهایی را با وسائل نقلیه با ظرفیت محدود ولی با تعداد کافی در دسترس به مشتری تحویل می داند. یانگ [۱۰] فرض زمان تحویل از قبل تعیین شده را به مطالعه چنگ و همکاران [۹] اضافه کردند. لی و چن [۱۱] مسیر تحقیقاتی جدیدی را در این مدلها با معرفی مفهوم ظرفیت حمل و نیز زمان حمل آغاز کردند. هال و پاتس [۱۲] نیز مدل یکپارچه تولید و تحویل را برای فضای تک ماشین تولیدی در نظر گرفته و تابع هدف خود را هزینه کلی تحویل و تولید گرفتند. چنگ و لی [۱۳] همین مطالعه را با فرض فضاهای متفاوت برای سفارشات مختلف گسترش دادند. لی و همکاران [۱۴] مدل یکپارچه زمان بندی تولید تک ماشین و مسیریابی وسیله نقلیه را با هدف حداقل نمودن مجموع زمان های بازگشت آخرین وسیله پیشنهاد نمودند. هی و همکاران [۱۵] ژنگ و همکاران [۱۶] و سو و همکاران [۱۷] مدل چنگ و همکاران را بازنویسی نموده و الگوریتم های حل بهبود دهنده ای ارائه نمودند. چن و لی [۱۸] مدل جامعی که دو سیستم برای تولید و چندین روش برای تحویل به چندین مشتری ارائه کردند. لیو و لو [۱۹] مدل یکپارچه زمان بندی تولید تک ماشین و تحویل برای حداقل نمودن زمان تکمیل سفارشات ارائه نمودند. لی [۲۰] مدل یکپارچه تک ماشین بدون پیش نیازی و ارسال به یک مشتری را ارائه نمودند. خدابنده و همکاران [۲] مدل

محدوده مشتری  $i$  ام دارای  $n_i$  {1,2,...,n\_i} سفارش مختلف می باشد که هر کدام زمان های پردازش معین بر روی هر ماشین تولیدی داشته و توسط سیستم تولیدی جریان کارگاهی مورد پردازش قرار می گیرند. در ضمن هر سفارش دارای فضای اشغال کننده معینی از وسایل نقلیه بوده و پس از اتمام فرایند های تولیدی به کمک وسایل نقلیه محدودی با ظرفیت محدود که تنها به یک محدوده مشتری عزیزت می نماید به مشتری ارسال و تحویل می شود. وسیله نقلیه نیز بعد از تحویل سفارشات به مرکز بازمی گردد. با توجه به علائمی که چن [۳۲] برای مسائل یکپارچه مشابه در نظر گرفته است نمایش اختصاری مساله مورد نظر در این مقاله به صورت زیر می باشد. منظور کمیته نمودن بیشترین زمان بازگشت، در حالت جریان کارگاهی  $M$  ماشین با  $C$  محدوده مشتری و ارسال به صورت مستقیم و وجود تعداد  $V$  وسیله نقلیه با ظرفیت محدود  $q$  می باشد.

$$1 // V(\infty, q), Direct / c / MRT \quad (1)$$

## ۱-۲. فرضیات اصلی مدل

- کلیه پارامترهای تولید و توزیع قطعی و معین هستند
- هر ماشین تولیدی در هر زمان بر روی یک وسیله پردازش می کند.
- هر سفارش در هر زمان توسط تنها یک ماشین پردازش می شود.
- هر سفارش تنها توسط یک وسیله ارسال می شود.
- فواصل محدود مشتری مشخص و مسیر رفت و آمد نیز معلوم می باشد.
- ماشین تولیدی و وسایل حمل خرابی ندارند.

## ۲-۲. علائم اصلی

پارامترهای مساله

$C$	تعداد محدوده های مشتری
$N$	مجموع کل سفارشات ( $C \leq N$ )
$n_i$	تعداد سفارشات مشتری $i$ ام ( $N = n_1 + n_2 + \dots + n_C$ )
$M$	تعداد ماشین آلات تولیدی
$V$	تعداد وسیله های نقلیه
$J_{ik}$	سفارش $k$ ام از مشتری $i$ ام
$O_{ikm}$	عملیات ماشین $m$ ام روی سفارش $J_{ik}$
$U$	عدد مثبت خیلی بزرگ
$p_{ikm}$	زمان پردازش $O_{ikm}$
$f_{iv}$	زمان طی شده بین مرکز و مشتری $i$ ام

که "زمان بازگشت آخرین وسیله نقلیه به محل تولیدی" تعریف می شود.

در واقع نه تنها زمان های مرتبط با تولید باید تعیین شوند بلکه وسایل نقلیه تخصیصی به هر مشتری، سفارشات هر وسیله و زمانهای ارسال و بازگشت وسایل نیز در مدل یکپارچه تعیین میشوند. پس از مدلسازی، با توجه به اینکه مساله زمان بندی تولید در شرایط جریان کارگاهی به تنهایی NP-hard قوی می باشد پس مساله مورد بررسی در این تحقیق نیز NP-hard قوی می باشد. فلذا برای حل مدل از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) استفاده شده است. به منظور منطبق سازی الگوریتم با مدل تغییراتی نظیر تعریف سیاستهای همگون سازی و انقلاب برای افزایش کارایی الگوریتم ارائه شده است. همچنین به منظور ارزیابی اثربخشی یکپارچگی و نیز کارایی روش حل پیشنهادی با توجه به عدم وجود داده استاندارد ابتدا سه مجموعه داده تصادفی استاندارد برای مدل پیشنهادی تولید شده و از آن مجموعه داده ها استفاده شده است. جمع بندی به همراه پیشنهادات تحقیقات آتی در بخش پایانی آورده شده است.

## ۲. تعریف مساله و مدلسازی

یک تسهیل تولیدی با سیستم جریان کارگاهی  $M$  ماشین دارای  $C$  محدوده مشتری در محل های جغرافیایی مختلف وجود دارد. محدوده مشتری، به مجموعه ای از مشتریان مجزا در محل های جغرافیایی نزدیک به هم گفته می شود که می توان از فواصل داخل محدوده مشتری نسبت به فواصل بین محدوده های مشتری مختلف چشم پوشی نموده و به عنوان یک محدوده مشتری واحد در نظر گرفت. در شکل (۱) مفهوم محدوده مشتری به خوبی نشان داده شده است. با توجه به نوع تعریف محدوده مشتری در این مقاله از روش ارسال مستقیم برای تحویل محصول نهایی استفاده شده است.



شکل ۱. نمایش مفهوم محدوده مشتری

$$MRT \geq ST_v + \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^{n_i} s_{ik} y_{ikv} + 2 \quad \forall v \quad (9)$$

$$Z_{ikjl}, y_{ikv}, y_{iv} = \{0,1\} \quad (10)$$

$$t_{ikm}, ST_v, MRT \geq 0$$

رابطه (۲) تابع هدف مدل را که زمان بازگشت آخرین وسیله نقلیه بعد از رساندن سفارشات به محدوده مشتری مربوطه می باشد را نشان می دهد. محدودیت های مدل به سه بخش زیر تقسیم می شوند:

رابطه (۳) نشان می دهد که در هر لحظه تنها یک سفارش و یا کار بر روی هر ماشین تولیدی مورد پردازش قرار می گیرد و همچنین ترتیب انجام سفارشات بر روی تمامی ماشین ها یکسان است. رابطه (۴) نیز بیان کننده ترتیب عملیات های مختلف هر سفارش روی ماشین های متوالی می باشد که بعد از اتمام عملیات فعلی عملیات بعدی شروع می شود (محدودیت های تولیدی). محدودیت (۵) بیان می کند که هر سفارش تنها توسط یک وسیله حمل و تحویل می شود و قابل شکسته شدن نیست. محدودیت (۶) بیان می کند که هر وسیله نقلیه فقط یکبار مورد استفاده قرار می گیرد. محدودیت (۷) نیز بیان کننده ظرفیت محدود وسیله نقلیه می باشد (محدودیت های توزیعی). محدودیت (۸) بیان می کند که وسیله نقلیه بعد از اتمام فرایند های تولیدی کلیه سفارشات تخصیص داده شده به آن می تواند حرکت کند. محدودیت (۹) بیان کننده رابطه زمان بازگشت به مرکز می باشد که برابر زمان حرکت وسیله بعلاوه زمان عزیمت به محدوده مشتری زمان سرویس دهی سفارشات و زمان عزیمت از محدوده مشتری به مرکز می باشد. در انتها محدودیت (۱۰) نیز تعریف کننده نوع متغیر های مدل می باشد (محدودیت های یکپارچه).

خطی سازی مدل

با توجه به غیر خطی بودن محدودیت (۸)، با ایجاد تغییری در آن به خطی سازی محدودیت با کمک رابطه زیر پرداخته شده است:

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, \dots, C \\ t_{ikm} + p_{ikm} &\leq ST_v + U(1 - y_{ikv}) \\ k &= 1, 2, \dots, n_i \\ v &= 1, 2, \dots, V \end{aligned} \quad (11)$$

مدل ارائه شده برای سایزهای کوچک به کمک نرم افزار Gams حل می شود ولی برای مسائل با سایز متوسط و بزرگ زمان حل نرم افزار Gams غیر قابل قبول می شود. به همین دلیل برای حل این مساله به سراغ روشها فزاینده رفتن تا در زمان قابل قبول برای این مساله در سایزهای متوسط و بزرگ جواب نزدیک به بهینه بدست آید. بنابراین، با توجه به پیچیدگی فضای حل مساله و

توسط وسیله نقلیه v ام

$q_{ik}$  ظرفیت اشغال شده توسط  $J_{ik}$  از وسائل نقلیه

$Q_v$  ظرفیت وسیله v ام

$S_{ik}$  زمان سرویس دهی سفارش  $J_{ik}$  ام در محل محدوده مشتری

متغیر های تصمیم مساله

$t_{ikm}$  زمان شروع پردازش عملیات  $O_{ikm}$  ام

یک اگر سفارش  $J_{ik}$  ام زودتر از

$Z_{ikjl}$  سفارش  $J_{jl}$  ام مورد پردازش قرار بگیرد

و در غیر اینصورت صفر

یک اگر سفارش  $J_{ik}$  ام توسط وسیله

$y_{ikv}$  v ام منتقل شود و در غیر اینصورت

صفر

یک اگر وسیله v ام توسط محدوده

$y_{iv}$  مشتری i ام استفاده شود و در غیر

اینصورت صفر

$ST_v$  زمان شروع حرکت وسیله v ام

$MRT$  زمان بازگشت آخرین وسیله به مرکز

تولیدی

### ۲-۳. مدل سازی ریاضی

در این قسمت مدل برنامه ریزی غیر خطی مختلط عدد صحیح ارائه می شود.

(۲)  $Minimise MRT$

Subject to (3-10):

$$\begin{cases} t_{ikm} + p_{ikm} \leq t_{jlm} + U(1 - Z_{ikjl}) & \forall i, j \\ t_{jlm} + p_{jlm} \leq t_{ikm} + UZ_{ikl} & \forall k, l, m \end{cases} \quad (3)$$

$$t_{ikm} + p_{ikm} \leq t_{ik(m+1)} \quad \forall i, k, m \quad (4)$$

$$\sum_{v=1}^V y_{ikv} = 1 \quad \forall i, k \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^c y_{iv} = 1 \quad \forall v \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^c q_{ik} y_{ikv} \leq Q_v * y_{iv} \quad \forall i, v \quad (7)$$

$$ST_v \geq y_{ikv}(t_{ikm} + p_{ikm}) \quad \forall i, k, v \quad (8)$$

می شوند و برخی دیگر قدرتمند تر می شوند این کار در الگوریتم به عنوان عملگر ICA مدل شده است. این تکرارها تا رسیدن به معیار اتمام الگوریتم ادامه پیدا می کند. در شکل (۲) شبه کد الگوریتم نشان داده شده است:

#### Begin ICA

```

Initialize parameters.
Choose a termination criterion (maximum number of
iterations).
Produce the first population randomly.
Compute the objective function for the first population.
Descend the first population based on their objective
function costs.
Specify the imperialist states.
Form the empires by sharing the colonies to the imperialist
states.
*While (the specified decades are not passed) do
**While (all empires selected) do
Choose the i'th empire
***While (all colonies selected) do
Choose the j'th colony
move the colony toward its
imperialist state (Assimilation)
Change the direction of movement
for some colonies (Revaluation)
Compute the objective function cost
for the populations in new positions
Evaluate two new costs and select
the best one
Substitute j'th colony with new one
End ***while
Descend all colonies of i'th empire based on
their cost functions
Check cost function s of all colonies in each
empire
If (There is a colony with a lower cost than its
imperialist)
Exchange the position of the colony
and imperialist
End If
Update the location of the i'th empire
End **While
Compute total cost of empire
Search for the weakest empire
Give one its colonies to the empire which is more powerful
Check the number of colony in each empire
If there is an empire with no colony
Omit the empire and possess its imperialist for
the best empire
End If
End *While
End ICA
    
```

#### شکل ۲. شبه کد الگوریتم ICA

الگوریتم ICA در ادبیات زمان بندی و مسیریابی نیز مورد استفاده قرار گرفته است (صید گر و همکاران [۳۴]، ربیعی و همکاران [۳۵]، بهنامیان و زندیه [۳۶]، شکرالله پور و همکاران [۳۷]، عطار و همکاران [۳۸]، کریمی و همکاران [۳۹]، نوروزی و همکاران [۴۰]، گلدانساز و همکاران [۴۱]، نادری و یزدانی [۴۲]، کریمی و داودپور [۴۳]، کریمی و همکاران [۴۴]) ولی تا بحال این الگوریتم برای مساله زمان بندی تولید در شرایط جریان کارگاهی مورد استفاده قرار نگرفته است که این نیز دلیلی دیگر بر انتخاب این الگوریتم برای حل مدل پیشنهادی می باشد.

همچنین به کمک مرور ادبیات موضوع که باعث محرز شدن نتایج خوب گزارش شده از ICA به عنوان الگوریتمی کارا برای مسائل تولید، زمان بندی و .. می باشد، الگوریتم رقابت استعماری برای حل مدل پیشنهادی انتخاب شده است.

### ۳. الگوریتم رقابت استعماری

#### ۳-۱. معرفی الگوریتم

الگوریتم ICA یکی از الگوریتم های فراابتکاری جدید می باشد که اولین بار توسط آتشی و لوکاس [۳۳] در سال ۲۰۰۷ ارائه شده و برای مسائل بهینه سازی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوریتم نیز بر پایه جمعیت اولیه بوده و با مدلسازی ریاضی فرایند تکامل اجتماعی - سیاسی، الگوریتمی برای حل مسائل ریاضی بهینه سازی ارائه می دهد (آتشی و لوکاس [۳۳]). مانند سایر الگوریتم های فراابتکاری، ICA نیز با تولید جمعیت اولیه به صورت تصادفی شروع بکار می کند. هر عضو از جمعیت اولیه در این الگوریتم کشور نامیده می شود که دقیقاً مشابه مفهوم کروموزوم در الگوریتم ژنتیک می باشد. در گام اول الگوریتم تعدادی معینی از کشورهای بهتر (کشورهایی با تابع هدف بهتر) به عنوان کشورهای امپریالیست انتخاب شده و باقیمانده کشورها به عنوان مستعمره نامیده می شوند. سپس کشورهای مستعمره بر اساس قدرت کشورهای امپریالیست به آنها تخصیص داده می شوند. بعد از تقسیم کلیه کشورهای مستعمره بین امپریالیستها گام های تکراری الگوریتم آغاز می گردد. سیاست همگون سازی (جذب) با هدف تحلیل فرهنگ و ساختار اجتماعی مستعمرات در فرهنگ حکومت مرکزی انجام می گرفت. همانگونه که می دانیم، کشورهای استعمارگر، برای افزایش نفوذ خود، شروع به ایجاد عمران (ایجاد زیرساخت های حمل و نقل، تاسیس دانشگاه و ...) در کشورهای تحت سلطه خود می کردند. با در نظر گرفتن شیوه نمایش یک کشور در حل مسئله بهینه سازی، در حقیقت این حکومت مرکزی با اعمال سیاست جذب سعی داشت تا کشور مستعمره را در راستای ابعاد مختلف اجتماعی سیاسی به خود نزدیک کند. این بخش از فرایند استعمار در الگوریتم بهینه سازی، به صورت حرکت مستعمرات به سمت کشور امپریالیست، مدل شده و سیاست جذب نامیده می شود. همانطور که در سیستم های اجتماعی - سیاسی، بروز انقلاب نیز تغییرات ناگهانی را در ویژگی های اجتماعی سیاسی یک کشور ایجاد می کند. در الگوریتم ICA، انقلاب با جابجایی تصادفی یک کشور مستعمره به یک موقعیت تصادفی جدید مدلسازی می شود. بعد از انجام این دو عملیات در هر تکرار و یافتن مکان جدید کشورها در هر تکرار رقابت میان امپراطوری ها آغاز می گردد. بقای هر امپراطوری به قدرت آن که ناشی از قدرت کشورهای تحت سلطه اش می باشد نشأت می گیرد. در تکرار های مختلف قدرت برخی امپراطوریها رفته رفته روبه افول رفته و حذف

۳-۲. انطباق الگوریتم با مساله

نحوه نمایش جواب شدنی

گام مهم در استفاده از هر الگوریتمی برای حل مساله تعیین نحوه نمایش جواب مناسب برای آن مساله می باشد، در این مساله از یک ساختار دو بخشی برای نمایش استفاده شده است (شکل (۳)). بخش اول توالی سفارشات را بر روش ماشینهای تولیدی نشان می دهد و بخش دوم وسیله حمل سفارشات تکمیل شده را نمایش می دهد. قابل توجه است که با این نحوه نمایش از تولید جواب نشدنی از اول جلوگیری بعمل می آید. لازم به ذکر است که بعد از تشکیل بخش اول بخش دوم بصورت ترتیبی با تخصیص وسایل حمل به سفارشات با در نظر گرفتن محدودیت محدوده سفارش مورد نظر و نیز ظرفیت وسیله اقدام به تخصیص سفارشات به وسائل حمل می کند و تابع برانزنگی که همان بیشترین زمان بازگشت می باشد بدست می آید.

	بخش اول				
کشور	۵	۳	۲	۴	۱
جواب)	۱	۲	۲	۳	۳
شدنی)	بخش دوم				

شکل ۳. نحوه نمایش جواب شدنی

تشکیل جمعیت اولیه

تعدادی از جمعیت اولیه به کمک روش های ابتکاری موجود در ادبیات تولید شده و بقیه تصادفی تولید شده اند. بعد از تولید جوابهای اولیه تعداد  $N_{imp}$  آنها با تابع هدف بهتر به عنوان امپریالیست انتخاب می شوند و بقیه  $N_{col} = N - N_{imp}$  به عنوان مستعمره نامیده می شوند که بر اساس قدرت نسبی امپریالیست ها بینشان تقسیم می شوند. تعداد کشورهای هر امپراطوری به صورت زیر انتخاب می شوند:

محاسبه هزینه نرمال سازی شده هر امپریالیست:

$$C_n = Max_i(MRT_i) - MRT_n \quad (12)$$

محاسبه قدرت نرمال سازی شده هر امپریالیست:

$$P_n = \left| \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} C_i} \right| \quad (13)$$

محاسبه تعداد کشورهای مستعمره هر امپراطوری

$$NC_n = Round\{P_n \cdot N_{col}\} \quad n = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (14)$$

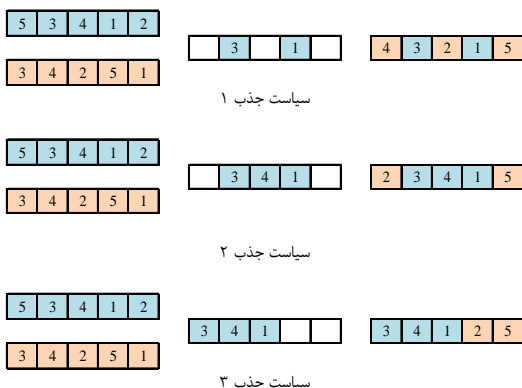
$NC_n = N_{col} - (NC_1 + NC_2 + \dots + NC_{n-1}) \quad n = n$   
جذب یا همگون سازی: حرکت مستعمره ها به سمت امپریالیست

ها

سیاست جذب ۱: در این سیاست دو سفارش انتخاب شده دقیقا از محل امپریالیست به مستعمره منتقل شده و بقیه به ترتیب از روی خود مستعمره منتقل می شوند (شکل (۴)).

سیاست جذب ۲: در این سیاست سفارش های بین دو سفارش انتخاب شده دقیقا از محل امپریالیست به مستعمره منتقل شده و بقیه به ترتیب از روی خود مستعمره منتقل می شوند (شکل (۴)).

سیاست جذب ۳: در این سیاست سفارش های بین دو سفارش انتخاب شده دقیقا از محل امپریالیست به ابتدای مستعمره منتقل شده و بقیه به ترتیب از روی خود مستعمره منتقل می شوند (شکل (۴)).

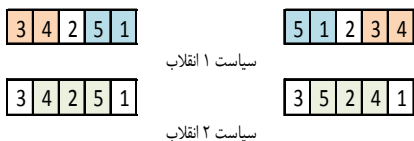


شکل ۴. نمایش عملکرد سیاست های جذب

انقلاب: تغییر ناگهانی مستعمره

سیاست انقلاب (جابجایی بازه ها): در این سیاست دو بازه از سفارش ها انتخاب شده و دو بازه سفارش انتخاب شده جایجا میشوند (شکل (۵)).

سیاست انقلاب ۲ (معکوس سازی): در این سیاست سفارش های بین دو سفارش انتخاب شده و محلشان معکوس می شود (شکل (۵)).



شکل ۵. نمایش نحوه عملکرد سیاست های انقلاب

جابجایی امپریالیست و مستعمره

در صورتی که بعد از عملکرد جذب و انقلاب تابع هدف مستعمره ای بهتر از امپراطورش گردید جای این دو با هم جایجا می شود.

محاسبه قدرت کلی امپراطوری

قدرت کلی امپراطوری ها از مجموع تابع هدف امپراطور بعلاوه ضربی از میانگین توابع هدف مستعمراتش بدست می آید

جدول ۱. تولید تصادفی داده های تحویل مدل یکپارچه پیشنهادی

سطح	پارامتر
$x_{Depot} = y_{Depot} = \text{Uniform}(20, 50)$	محل مرکز تولیدی
$\begin{cases} x_{i(Customer)} = \text{Uniform}(0, 2 \times x_{Depot}) \\ y_{i(Customer)} = \text{Uniform}(0, 2 \times y_{Depot}) \end{cases}$	محل قرار گیری محدوده مشتری
$\text{Uniform}(20, 50)$	میزان فضای هر سفارش
$\text{Uniform}(0, 5)$	زمان سرویس دهی هر محدوده مشتری
$f(d)$ Function Based on customers' demands	تعداد وسیله نقلیه
$\begin{cases} \text{Small size problem} & 40 \\ \text{Medium size problem} & 100 \\ \text{Large size problem} & 150 \end{cases}$	ظرفیت وسیله های حمل

بعنوان مثال در این مقاله تابع زیر برای تعداد وسائل استفاده شده است.

$$v = \left\lceil \frac{\text{مشتری محدوده هر تقاضای کل مجموع}}{\text{ظرفیت وسیله نقلیه}} \right\rceil + 1 \quad (18)$$

#### ۴-۲. تنظیم پارامترها

با توجه به تاثیر زیاد پارامترهای انتخابی برای هر الگوریتم فراابتکاری در عملکرد آن، تنظیم پارامترهای هر الگوریتم برای حل هر مساله بخش بسیار مهمی را در استفاده از هر الگوریتم تشکیل می دهد. در این مقاله از روش بهینه سازی تاگوچی برای تعیین مقدار مناسب پارامترها استفاده شده است. گفتنی است که نتایج این بخش به کمک نرم افزار Minitab 16 انجام شده است. بدین صورت که ابتدا چهار پارامتر اصلی الگوریتم شناسایی و سطوحی پیشنهادی بر اساس تعدادی حل اولیه پیشنهاد شده است که در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. سطوح پارامترهای الگوریتم

D	C	B	A
$\varphi$	$P_r$	$N_{Imp}$	$(Max_{itr}, N_{Col})$
0.	0	2	(100,200)
	1	.2	5
0.	0	5	(200,400)
	2	.3	0
0.	0	7	(300,500)
	3	.4	5

بر اساس روش تاگوچی ۹ آزمایش را با توجه به سطوح مختلف پارامترها (L9) در نظر میگیرد و جدول آرایه های متعامد را طبق جدول زیر برای اجرا کردن الگوریتم در سطوح مختلف پارامترها ارائه می کند.

که  $\varphi$  عددی بین صفر و یک بوده و از پارامترهای الگوریتم می باشد.

$$TC_n = Cost(Imp_n) + \varphi * \text{mean}\{cost(colonies\ of\ Imp_n)\} \quad (15)$$

#### رقابت استعماری امپراطوری ها

پس از بدست آوردن قدرت کلی امپراطوری ها امپراطوری که ضعیف ترین قدرت را دارد کم کم و در تکرارهای متوالی ضعیف ترین مستعمراتش را به امپراطوری هایی با قدرت بیشتر تسلیم میکند تا محو می شود. این رقابت بر اساس قدرت نرمال سازی شده انجام می شود. در ضمن این تصاحب مستعمرات امپراطوری های ضعیف با احتمال تصاحب انجام می شود.

$$NTC_n = \text{Max}_i(TC_i) - TC_n \quad (16)$$

$$P_n = \left| \frac{NTC_n}{\sum_{i=1}^{N_{Imp}} NTC_i} \right| \quad (17)$$

شرط توقف

شرط توقف در این مساله تعداد تکرار تعریف شده است.

#### ۴. نتایج محاسباتی

در این بخش به دو سوال اساسی باید پاسخ داده شود. نخست اینکه الگوریتم چقدر کارا عمل می کند و دوم اینکه یکپارچه سازی چه میزان باعث بهبود عملکرد سیستم می گردد. برای پاسخ به سوال اول الگوریتم ICA با الگوریتم های دیگر مقایسه می شود. همچنین به منظور پاسخ به سوال دوم جواب مدل یکپارچه را با حالت غیر یکپارچه مقایسه می شود

#### ۴-۱. تولید نمونه عددی تصادفی

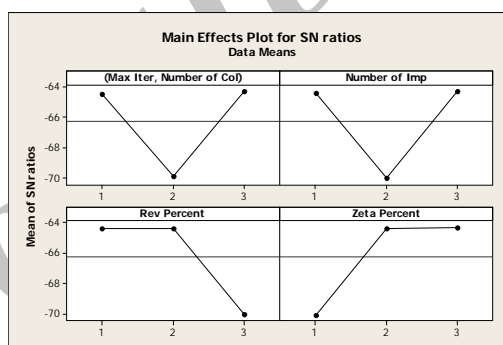
به منظور انجام تحلیل های محاسباتی نیاز به تعدادی مثال عددی استاندارد داریم که بعلاجه جدید بودن مدل پیشنهادی مثال عددی مناسبی در ادبیات یافت نشده و باید آنها را تصادفی تولید نمود. به همین منظور با توجه به اینکه مثالهای استاندارد در ادبیات زمان بندی جریان کارگاهی موجود می باشد از اطلاعات آنها برای بخش تولید مدل یکپارچه استفاده شده و اطلاعات بخش توزیع به صورت تصادفی تولید می شوند. به همین منظور از سه دسته مثال عددی استاندارد کارلیر [۴۵] (Car1- Car8)، ریوز [۴۶] (Rec01- Rec41) و Taillard [۴۷] (۳۰ مثال برای حالت ۲۰ سفارش) که مثالهای پر استنادی در ادبیات زمان بندی می باشند کمک گرفته شده و داده های بخش تحویل با بررسی نحوه تولید تصادفی مثالهای استاندارد ادبیات تحویل و توزیع به صورت جدول زیر بصورت تصادفی تولید شده اند:



### جدول ۳. جدول آرایه های متعامد L9

آزمایش	A	B	C	D
۱	A(1)	B(1)	C(1)	D(1)
۲	A(1)	B(2)	C(2)	D(2)
۳	A(1)	B(3)	C(3)	D(3)
۴	A(2)	B(1)	C(2)	D(3)
۵	A(2)	B(2)	C(3)	D(1)
۶	A(2)	B(3)	C(1)	D(2)
۷	A(3)	B(1)	C(3)	D(2)
۸	A(3)	B(2)	C(1)	D(3)
۹	A(3)	B(3)	C(2)	D(1)

برای هر یک از این ۹ سری آزمایشات تعیین شده یک مساله کوچک، یک مساله متوسط و یک مساله با سایز بزرگ حل شده و میانگینشان برای نتایج استفاده شده است. نتایج در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۶. نمودار مقادیر نسبت S/N در روش

### تاگوچی

با توجه به نتایج سطوح پارامترها به صورت زیر تعیین شده و به حل نمونه ها پرداخته می شود.

$(Max_{Iter}, N_{Col})$	$N_{Imp}$	$P_r$	$\varphi$
(200,400)	50	0.4	0.1

کد نویسی و اجرای آنها در نرم افزار MATLAB 7.6.0.324 (R2008a) و به کمک سیستم کامپیوتر شخصی 2.80GHz and 192 GB of RAM انجام شده است.

### ۴-۳. نتایج محاسباتی

در اینجا به دو سوال ابتدای بخش پاسخ داده شده است. در پاسخ به سوال اول کارایی الگوریتم پیشنهادی مورد سنجش قرار گرفته است بدین صورت که نمونه های استاندارد ادبیات زمانبندی جریان کارگاهی با الگوریتم ICA حل شده و نتایج آن با چهار الگوریتم دیگر مقایسه شده است. برای نمونه های Carliers و Reeves این چهار الگوریتم عبارتند از: الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی گسسته (۲۰۰۶) [۴۸]، الگوریتم ژنتیک جایگشتی

(۲۰۰۸) [۴۹]، الگوریتم ابتکاری سازنده (۱۹۸۳) [۵۰] و نیز HDDE که الگوریتم ترکیبی تکاملی دیفرانسیلی گسسته (۲۰۱۰) [۵۱] و برای نمونه های تیلارد عبارتست از Palmer الگوریتم ابتکاری (۱۹۶۵) [۵۲]، CDS الگوریتم ابتکاری (۱۹۷۰) [۵۳]، NEH [۵۰] و نیز HDDE [۵۱] می باشد. برای مقایسه هر مساله سه بار با الگوریتم ICA حل شده و بهترین جواب جهت مقایسه با چهار الگوریتم دیگر در جداول زیر به ترتیب آورده شده است. برای پاسخ به سوال دوم نیز جواب زمان بندی تولید جریان کارگاهی حل شده به کمک الگوریتم ICA را با جواب ارسال مستقیم سفارشات به کمک وسائل نقلیه و تنها با هدف رعایت محدودیت ظرفیت جمع نموده و جواب حالت غیر یکپارچه بدست می آید. از سوی دیگر برای جواب یکپارچه مدل از الگوریتم اشاره شده در مقاله استفاده کرده و جواب بهینه بدست آمده و با حالت غیر یکپارچه مقایسه شده تا میزان بهبود بررسی و تحلیل شود.

در جدول (۴) ستون اول و دوم مشخصات نمونه بوده، ستون سوم بهترین جواب شناخته شده برای مساله ها، ستون چهارم تا هفتم جوابهای گزارش شده توسط چهار الگوریتم مورد مقایسه می باشد و ستون هشتم جوابهای الگوریتم ICA می باشد. در حالی که ستونهای نهم و هم نیز نتایج مدل برای حالت غیر یکپارچه و یکپارچه می باشد. در این جدول (و همچنین دو جدول بعدی) دو مقایسه مجزا یکجا نمایش داده می شود. ابتدا مقایسه الگوریتم ICA با چهار الگوریتم دیگر و سپس مقایسه ستونهای نهم و دهم با یکدیگر، ولی از آنجا که هر دو مقایسه برای مساله های یکسانی انجام می شود اعداد مربوط به هر دو مقایسه در یک جدول واحد آورده شده اند. همانگونه که در جدول آمده الگوریتم ICA برای تمامی ۸ مساله این بخش به جواب بهینه ادبیات رسیده و از تمامی چهار الگوریتم بهتر است. در ستون نهم میانگین زمان بازگشت برابر با ۹۷۸۳ واحد زمانی میباشد، مقدار ۷۵۸۸ واحد آن مربوط به زمان تولید بوده (که در حالت غیر یکپارچه مجزا زمان بندی شده اند) و ۲۱۹۵ واحد دیگر آن زمان مربوط به ارسال مستقیم می باشد. لذا با حل مدل به صورت یکپارچه با کاهشی برابر ۴۳۵ واحد زمانی مواجه هستیم که عبارتی زمان حمل و ارسال مستقیم به میزان قابل توجه ۲۰٪ کاهش پیدا کرده است.

ستونهای یک تا دهم جدول (۵) نیز دقیقاً اطلاعات جدول قبلی ولی مربوط به نمونه های Reeves را نمایش داده اند. در تمامی نمونه های استاندارد این سری داده ها نیز الگوریتم ICA از کلیه روشهای مقایسه شده جواب بهتری بدست می دهد و این نشان از کارایی بالای الگوریتم دارد. در مقایسه رویکرد یکپارچه با غیر یکپارچه نیز نشان از بهبود ۲۷٪ در زمان ارسال مستقیم سفارشات به مشتریان می دهد.

باشد در نظر گرفته شده است. در این پژوهش از مفهوم محدوده مشتری برای روش ارسال مستقیم استفاده شده است. برای حل مدل پیشنهادی با توجه به زمان بالای حل توسط روشهای دقیق الگوریتم ICA توسعه داده شده است. به منظور بالا بردن کارایی الگوریتم سیاست های جذب و انقلاب سازگار با مساله به الگوریتم اضافه شده و از رویکرد تاگوچی برای تنظیم پارامترهای مطلوب الگوریتم به منظور حل مدل یکپارچه استفاده شده است. با توجه به جدید بودن مدل و عدم وجود نمونه های عددی استاندارد ابتدا تعدادی نمونه عددی تصادفی برای مدل تولید شده و از آنها در بخش نتایج محاسباتی استفاده شده است. در نتایج محاسباتی با مقایسه الگوریتم حل پیشنهادی با چهار الگوریتم دیگر کارایی بالای الگوریتم به اثبات رسیده و اثر بخشی رویکرد یکپارچه به تولید و توزیع نیز با مقایسه های آماری نشان از بهبود قابل توجه در رویکرد یکپارچه نسبت به غیر یکپارچه می دهد.

در نمونه های Carrier با حل مدل به صورت یکپارچه، زمان حمل و ارسال مستقیم به میزان ۲۰٪ کاهش پیدا کرده است، این در حالی است که در نمونه های Reeves مقایسه رویکرد یکپارچه با غیریکپارچه نشان از بهبود ۲۷٪ در زمان ارسال مستقیم سفارشات به مشتریان دارد. همچنین در داده های مربوط به نمونه های Taillard در سه بخش جداگانه بهبود ۴۴٪، ۳۱٪ و ۴۶٪ در زمان ارسال مستقیم سفارشات به مشتریان ایجاد شده است. همچنین این نتایج نشان دهنده عملکرد بهتر رویکرد مدل پیشنهادی برای نمونه های با اندازه بزرگ تر می باشد.

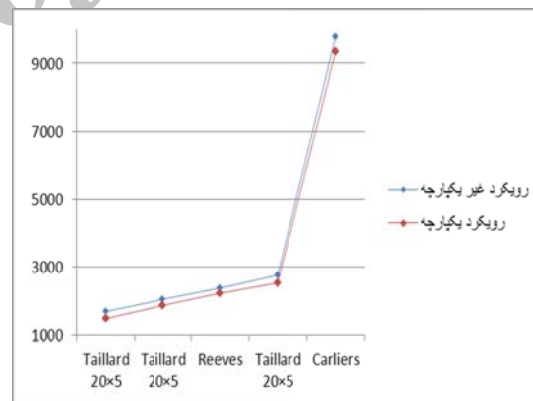
برای تحقیقات آتی می توان از ارسال به روش مسیریابی و یا سایر سیستم های تولیدی غیر از جریان کارگاهی در مدل سازی استفاده نمود و همچنین استفاده از سایر الگوریتم های فرا ابتکاری نظیر جستجوی فاخته، الگوریتم کرم شب تاب و الگوریتم خفاش برای حل پیشنهاد می شود.

## مراجع

[۱] راستی برزکی، مرتضی. حجازی، سید رضا. کمینه کردن مجموع وزنی تعداد کارهای تاخیری با در نظر گرفتن مجموع هزینه های تخصیص موعد تحویل گروهی و هزینه های ارسال، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، سال ۲۴، شماره ۲، ۲۰۳-۲۱۴.

[۲] خدابنده، مهدی. حجازی، سید رضا. راستی برزکی، مرتضی. یک الگوریتم ژنتیک برای مساله زمان بندی یکپارچه تولید و توزیع با در نظر گرفتن مسیریابی در زنجیره تامین، نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، سال ۱، شماره ۲، ۱۶۷-۱۸۱.

در جدول (۶) ستون اول و دوم مشخصات نمونه بوده، ستون سوم بهترین جواب شناخته شده برای مساله ها، ستون چهارم تا هفتم جوابهای گزارش شده توسط چهار الگوریتم CDS, Palmer, HDDE و NEH مورد مقایسه می باشد و ستون هشتم جوابهای الگوریتم ICA می باشد. در حالی که ستونهای نهم و هم نیز نتایج مدل برای حالت غیر یکپارچه و یکپارچه می باشد. مربوط به نمونه های Taillard را نمایش داده اند. این سری داده ها در سه بخش جداگانه تهیه و گزارش شده اند. در تمامی نمونه های استاندارد این سری داده ها نیز الگوریتم ICA از کلیه روشهای مقایسه شده جواب بهتری بدست می دهد ولی برای سری اول ده تایی نمونه ها در ۷ مورد از ۱۰ مورد الگوریتم پیشنهادی به جواب بهینه دست می یابد که این نشان از کارایی بالای الگوریتم دارد. در مقایسه رویکرد یکپارچه با غیر یکپارچه نیز نشان از بهبود ۴۴٪، ۳۱٪ و ۴۶٪ در زمان ارسال مستقیم سفارشات به مشتریان به ترتیب برای دسته اول، دوم و سوم نمونه ها تبلارد می دهد. همچنین نشان از عملکرد بهتر سیستم برای نمونه های با سایز بزرگتر می باشد. در ادامه به منظور ارائه تحلیل های آماری بهتر و کاملتر نمودار مقایسه میانگین بیشترین زمان بازگشت برای ۵ دسته مساله نمودار شکل زیر ترسیم شده است که بهبود رویکرد یکپارچه را به روشنی نمایش داده است.



شکل ۷. مقایسه میانگین توابع هدف ۵ دسته مساله نمونه

## ۵. نتیجه و جمع بندی

در این مقاله ابتدا مساله یکپارچه تولید و تحویل در صورتی که زمان بندی تولید در سیستم جریان کارگاهی و ارسال و تحویل محصول به مشتری به روش ارسال مستقیم و با وسائل نقلیه محدود با ظرفیت محدود انجام شود مورد بررسی قرار گرفته و مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. تابع هدف مدل بیشترین زمان بازگشت که زمان تحویل آخرین سفارش به مشتری مربوطه و بازگشت وسیله مورد نظر به مرکز تولیدی می

- coordination.” *European Journal of Operational Research* 158: 470–487.
- [14] Li, C. L., G. Vairaktarakis, and C. Y. Lee. 2005. “Machine scheduling with deliveries to multiple customer locations.” *European Journal of Operational Research* 164: 39–51.
- [15] He, Y., W. Zhong, and H. Gu. 2006. “Improved algorithms for two single machine scheduling problems.” *Theoretical Computer Science* 363: 257–265.
- [16] Zhong, W. Y., G. Dosa, and Z. Y. Tan. 2007. “On the machine scheduling problem with job delivery coordination.” *European Journal of Operational Research* 182: 1057–1072.
- [17] Su, C. Sh., J. C. H. Pan, and T. S. Hsu. 2009. “A new heuristic algorithm for the machine scheduling problem with job delivery coordination.” *Theoretical Computer Science* 410: 2581\_2591.
- [18] Chen, B., and C. Y. Lee. 2008. “Logistics scheduling with batching and transportation.” *European Journal of Operational Research* 189: 871–876.
- [19] Liu, P., and X. Lu. 2011. “An improved approximation algorithm for single machine scheduling with job delivery.” *Theoretical Computer Science* 412: 270–274.
- [20] Lee, I. S. 2015. “A coordinated scheduling of production-and-delivery under dynamic delivery cost environments.” *Computers & Industrial Engineering* 81: 22–35.
- [21] Li, C.L. 2015. “Improved algorithms for single-machine common due window assignment and scheduling with batch deliveries” *Theoretical Computer Science*: 9: 30–39.
- [22] Ahmadizar, F., Farhadi, S. 2015. “Single-machine batch delivery scheduling with job release dates, due windows and earliness, tardiness, holding and delivery costs” *Computers & Operations Research*: 53:194–205.
- [23] Li, K., Zhou, C., Leung, J. Y.T., Ma, Y. 2016. “Integrated production and delivery
- [3] Thomas, D. J., & Griffin, P. M. (1996). Coordinated supply chain management, *European journal of operational research*, 94: 1-15.
- [4] Potts, C.N. 1980. “Analysis of a heuristic for one machine sequencing with release dates and delivery times.” *Operations Research* 28: 1436–1441.
- [5] Hall, L.A., and B. Shmoys. 1992. “Jackson\_s rule for single-machine scheduling: Making a good heuristic better.” *Mathematics of Operations Research* 17: 22–35.
- [6] Herrmann, J. W., and C. Y. Lee. 1993. “On scheduling to minimize earliness-tardiness and batch delivery costs with a common due date.” *European Journal of Operational Research* 70: 272–288.
- [7] Yuan, J. 1996. “A note on the complexity of single-machine scheduling with a common due date, earliness–tardiness, and batch delivery costs.” *European Journal of Operational Research* 94: 203–205.
- [8] Chen, Z. L. 1996. “Scheduling and common due date assignment with earliness-tardiness penalties and batch delivery costs.” *European Journal of Operational Research* 93: 49–60.
- [9] Cheng, T. C. E., V. S. Gordon, and, M. Y. Kovalyov. 1996. “Single machine scheduling with batch deliveries.” *European Journal of Operational Research* 94: 277–283.
- [10] Yang, X. 2000. “Scheduling with generalized batch delivery dates and earliness penalties.” *IIE Transactions* 32: 735–741.
- [11] Lee, C. Y., and Z. L. Chen. 2001. “Machine scheduling with transportation considerations.” *Journal of Scheduling* 4: 3–24.
- [12] Hall, N. G., and C. N. Potts. 2003. “Supply chain scheduling: batching and delivery.” *Operations Research* 51: 566–584.
- [13] Chang, Y. C., and C. Y. Lee. 2004. “Machine scheduling with job delivery

- imperialistic competition.” IEEE Congress: 4661–7.
- [34] Seidgar, H., Kiani, M., Abedi, M., Fazlollahtabar, H., 2014. “An efficient imperialist competitive algorithm for scheduling in the two-stage assembly flow shop problem.” International Journal of Production Research 52: 1240-1256.
- [35] Rabiee, M., Zandieh, M., Jafarian, A., 2012. “Scheduling of a no-wait two-machine flow shop with sequence-dependent setup times and probable rework using robust meta-heuristics.” International Journal of Production Research 50: 7428-7446.
- [36] Behnamian, J., Zandieh, M., 2011. “A discrete colonial competitive algorithm for hybrid flowshop scheduling to minimize earliness and quadratic tardiness penalties.” Expert Systems with Applications 38: 14490–14498.
- [37] Shokrollahpour, E., M. Zandieh, and B. Dorri. 2011. “A novel imperialist competitive algorithm for bi-criteria scheduling of the assembly flowshop problem.” International Journal of Production Research 49: 3087–3103.
- [38] Attar, S. F., M. Mohammadi, and R. Tavakkoli-Moghaddam. 2011. “A novel imperialist competitive algorithm to solve flexible flow shop scheduling problem in order to minimize maximum completion time.” International Journal of Computer Applications 28: 27–32.
- [39] Karimi, N., M. Zandieh, and A. A. Najafi. 2011. “Group scheduling in flexible flow shops: a hybridised approach of imperialist competitive algorithm and electromagnetic-like mechanism.” International Journal of Production Research 49: 4965–4977.
- [۴۰] نوروزی، نرگس. توکلی مقدم، رضا. عمل نیک، محسن صادق. خائفی، صادق. مدل سازی ریاضی جدید برای مسئله مکان یابی تسهیلات و مسیریابی وسائط نقلیه و حل آن با الگوریتم رقابت استعماری تلفیقی، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، سال ۹۴، شماره ۱، ۱۲۹-۱۳۷.
- with single machine and multiple vehicles” Expert Systems with Applications: 57: 12–20.
- [24] Woeginger, G. J. 1994. “Heuristics for parallel machine scheduling with delivery times.” Acta Informatica 31: 503-512.
- [25] Wang, G., and T. C. E. Cheng. 2000. “Parallel machine scheduling with batch delivery costs.” International Journal of Production Economics 68: 177–183.
- [26] Lu, L., J. Yuang, and L. Zhang. 2008. “Single machine scheduling with release dates and job delivery to minimize the makespan.” Theoretical Computer Science 393: 102–108.
- [27] Ullrich, C. A. 2013. “Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows.” European Journal of Operational Research 227: 152–165.
- [28] Liu, P., Lu, X. 2016. “Integrated production and job delivery scheduling with an availability constraint” International Journal of Production Economics: 176: 1–6.
- [29] Wan, L. and A. Zhang. 2014. “Coordinated scheduling on parallel machines with batch delivery.” International Journal of Production Economics 150: 199–203.
- [30] Yuan, J., A. Soukhal, Y. Chen, and L. Lu. 2007. “A note on the complexity of flow shop scheduling with transportation constraints.” European Journal of Operational Research 178: 918-925.
- [31] Pan, J. C. H., C. L. Wu, H. C. Huang, and C. S. Su. 2009. “Coordinating scheduling with batch deliveries in a two-machine flow shop.” International Journal of Advanced Manufacturing Technology 40: 607-616.
- [32] Chen, Z.-L. (2010). Integrated production and outbound distribution scheduling: review and extensions, Operations Research, 58: 130-148.
- [33] Atashpaz, G. E., and C. Lucas. 2007. “Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by

- evolution algorithm.” European Journal of Operational Research 171: 674–692.
- [49] Qian, B., L. Wang, R. Hu, W. L. Wang, D. X. Huang, and X. Wang. 2008. “A hybrid differential evolution method for permutation flow-shop scheduling.” International Journal of Advanced Manufacturing Technology 38: 757–777.
- [50] Nawaz, M., J. E. Enscore, and I. Ham. 1983. “A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flowshop sequencing problem.” OMEGA 11: 91–95.
- [51] Mokhtari, H., I. N. Kamal-Abadi, and A. Cheraghali Khani. 2010. “A multi-objective flow shop scheduling with resource-dependent processing times: trade-off between makespan and cost of resources.” International Journal of Production Research iFirst: 1–25.
- [52] Palmer, D.S., 1965. Sequencing jobs through a multi-stage process in the minimum total time – a quick method of obtaining a near optimum. Operational Research Quarterly, 16 (1), 101–107.
- [53] Campbell, H.G., Dudek, R.A., and Smith, M.L., 1970. A heuristic algorithm for the n job, M machine scheduling problem. Management Science, 16 (10), B-630–B-637.
- [41] Goldansaz S. M., Jolai, F., Zahedi Anaraki, A. H. 2013.” A hybrid imperialist competitive algorithm for minimizing makespan in a multi-processor open shop.” Applied Mathematical Modeling: 37:9603–9616.
- [42] Naderi, B., Yazdani, M. 2014. “A model and imperialist competitive algorithm for hybrid flow shops with sublots and setup times” Journal of Manufacturing Systems: 33: 647–653.
- [43] Karimi, N., Davoudpour, H. 2016. “Multi-objective Colonial Competitive Algorithm for Hybrid Flowshop problem” Applied Soft Computing: In Press.
- [44] Karimi, S., Ardalan, Zaniar., Naderi, B. , Mohammadi, M. 2016. “Scheduling flexible job-shops with transportation times: Mathematical models and a hybrid imperialist competitive algorithm” Applied Mathematical Modelling: In Press.
- [45] Carlier, J. 1978. “Ordonnancements a contraintes disjonctives.” Recherche perationelle/Operations Research, 12: 333–351.
- [46] Reeves, C. R. 1995. “A genetic algorithm for flow shop sequencing.” Computers & Operations Research 22: 5–11.
- [47] Taillard, E. 1993. “Benchmarks for basic scheduling problems.” European Journal of Operational Research 64: 278–285.
- [48] Onwubolu, G. and D. Davendra. 2006. “Scheduling flow shops using differential

جدول ۴. نتایج محاسباتی نمونه های استاندارد Carlier

رویکرد یکپارچه	رویکرد غیریکپارچه	ICA	HDDE	NEH	PGA	ODE	جواب بهینه	N×M	مساله
8346	8724	<b>7038</b>	7038	7038	7038	7038	7038	11,3	Car1
8762	9056	<b>7166</b>	7166	7376	7166	7166	7166	13,4	Car2
9216	9343	<b>7312</b>	7340	7399	7399	7366	7312	12,5	Car3
9587	10791	<b>8003</b>	8003	8003	8003	8003	8003	14,4	Car4
10123	10492	<b>7720</b>	7720	7835	7720	7720	7720	10,6	Car5
10666	10666	<b>8505</b>	8505	8773	8505	8505	8505	8,9	Car6
8138	8206	<b>6590</b>	6590	6590	6590	6590	6590	7,7	Car7
9943	10990	<b>8366</b>	8366	8564	8366	8366	8366	8,8	Car8
9348	9783	<b>7588</b>	7591	7697	7598	7594	7588		میانگین

جدول ۵. نتایج محاسباتی نمونه های استاندارد Reeves

رویکرد یکپارچه	رویکرد غیریکپارچه	ICA	HDDE	NEH	PGA	ODE	جواب بهینه	N×M	مساله
1610	1761	1249	1260	1303	1283	1308	1247	20,5	Rec01
1462	1546	<b>1109</b>	1114	1132	1125	1117	1109	20,5	Rec03
1516	1732	1245	1245	1281	1245	1257	1242	20,5	Rec05
1854	2142	1568	1584	1626	1622	1599	1566	20,10	Rec07
2043	2180	1547	1582	1583	1587	1592	1537	20,10	Rec09
1891	2036	1445	1469	1550	1476	1494	1431	20,10	Rec11
2313	2427	1942	1975	2002	1975	2013	1930	20,15	Rec13
2541	2570	1971	2004	2013	2005	2028	1950	20,15	Rec15
2266	2360	1910	1956	2019	1960	2008	1902	20,15	Rec17
2766	2784	2104	2104	2185	2185	2230	2093	30,10	Rec19
2311	2594	2050	2091	2131	2113	2122	2017	30,10	Rec21
2488	2553	2028	2068	2155	2105	2130	2011	30,10	Rec23
2936	3251	2600	2631	2644	2654	2687	2513	30,15	Rec25
2751	2778	2413	2460	2498	2465	2503	2373	30,15	Rec27
2629	2930	2363	2389	2391	2459	2468	2287	30,15	Rec29
2225	2376	1836	1862	1901	1884	1904	1814		میانگین

جدول ۶. نتایج محاسباتی نمونه های استاندارد Taillard

رویکرد یکپارچه	رویکرد غیریکپارچه	ICA	HDDE	NEH	CDS	Palmer	جواب بهینه	سایز مساله
1636	1873	<b>1278</b>	1278	1286	1390	1384	1278	20×5
1604	1800	<b>1359</b>	1360	1365	1424	1439	1359	
1479	1576	<b>1081</b>	1123	1159	1249	1162	1081	
1505	1705	<b>1293</b>	1317	1325	1418	1490	1293	
1404	1738	1243	1265	1305	1323	1360	1235	
1625	1713	<b>1195</b>	1224	1228	1312	1344	1195	
1357	1448	1251	1251	1278	1393	1400	1239	
1551	1773	<b>1206</b>	1220	1223	1341	1313	1206	
1511	1784	1231	1271	1291	1360	1426	1230	
1185	1466	<b>1108</b>	1132	1151	1164	1229	1108	
1486	1688	1225	1244	1261	1337	1355	1222	میانگین
1994	2012	1592	1637	1680	1757	1790	1582	20×10
2106	2198	1685	1711	1729	1854	1948	1659	
1918	2063	1511	1556	1557	1645	1729	1496	
1817	2088	1398	1419	1439	1547	1585	1377	
1812	1931	1428	1496	1502	1558	1648	1419	
1747	1819	1415	1446	1453	1591	1527	1397	
1967	1998	1486	1526	1562	1630	1735	1484	
1685	1876	1555	1599	1609	1788	1763	1538	
1804	2233	1615	1644	1647	1720	1836	1593	
1947	2190	1608	1637	1653	1884	1898	1591	
1880	2041	1529	1567	1583	1697	1746	1514	میانگین
2706	2836	2315	2376	2410	2559	2818	2297	20×20
2505	2645	2124	2142	2150	2285	2331	2099	
2614	2751	2347	2387	2411	2565	2678	2326	
2408	2824	2250	2261	2262	2434	2629	2223	
2453	2826	2327	2383	2397	2506	2704	2291	
2693	2820	2243	2280	2349	2422	2572	2226	
2550	2823	2290	2345	2362	2489	2456	2273	
2552	2653	2216	2249	2249	2362	2435	2200	
2540	2678	2253	2319	2320	2414	2754	2237	
2330	2898	2197	2270	2277	2469	2633	2178	
2535	2775	2256	2301	2319	2451	2601	2235	میانگین