Archive of SID

نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره۴۴، شماره ۱، فروردین ماه ۱۳۸۹، از صفحه ۲۵ تا ۳۷

توسعه یک رویکرد حل بر مبنای آزادسازی لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک برای مسئله تعیین اندازه انباشته چندمحصولی، چندمرحله‌ای و چندپریودی با در نظرگیری محدودیت منابع تولیدی

حسن خادمی زارع[۱]، سید محمد تقی فاطمی قمی[*۲]، بهروز کریمی[۳]، مسعود جنابی[۴] و عباس راد[۵]

[۵و۴و۱] دانشجوی دوره دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۲] استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۳] دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(تاریخ دریافت ۸۴/۱۰/۱ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۸/۹/۳ ، تاریخ تصویب۸۸/۱۲/۴)

چکیده

در این مقاله یک روش ترکیبی برای تخصیص و تسطیح منابع محدود در مسائل پیچیده برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای، چندمحصولی و چندپریودی با هدف تعیین اندازه انباشته و حداقل کردن کل هزینه ارائه شده است. با معلوم بودن ظرفیت تولید ماشین‌آلات و تقاضای مشتریان، یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با هدف حداقل کردن مجموع هزینه‌های راه‌اندازی، نگهداری موجودی و تولید طراحی می‌شود. برای حل این مسئله یک روش سه مرحله‌ای توسعه داده شده است. ابتدا به کمک آزادسازی محدودیت منابع کمیاب، مسئله چندمحصولی به چند مسئله تک‌محصولی تجزیه می‌شوند. سپس روش جدیدی به کمک ترکیب الگوریتم ژنتیک با یک روش جستجوی همسایگی برای حل مسائل کوچک ارائه می‌شود. در انتها، برای دستیابی به جواب بهتر به کمک یک الگوریتم ابتکاری عملیات تسطیح منابع در بین مسائل کوچک انجام می‌شود. عملکرد الگوریتم سه‌مرحله‌ای طراحی شده به وسیله تعداد قابل توجهی از آزمایش‌های تجربی مورد بررسی و تأئید قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح، الگوریتم ژنتیک ترکیبی، روش جستجوی همسایگی، تخصیص و تسطیح منابع و ضرایب لاگرانژ

مقدمه

در قرن گذشته مباحث تخصیص و تسطیح منابع محدود در برنامه‌ریزی تولید، تکامل قابل توجهی داشته است. برنامه‌ریزی تأمین مواد[۱] یک روش مورد استفاده در تخصیص منابع محدود برنامه‌ریزی تولید برای تأمین قطعات و مواد اولیه محصولات نهایی است. به دنبال آن برنامه‌ریزی منابع ساخت[۲] و برنامه‌ریزی منابع سازمان[۳] بر مبنای ساختار برنامه تولید سلسله مراتبی ایجاد شده است. در این روش‌ها، برنامه اصلی تولید[۴] که از طریق پیش‌بینی تقاضای مشتریان حاصل شده است، به وسیله لیست مواد و قطعات[۵] به کوچک‌ترین اجزای هر یک از محصولات تعمیم داده می‌شود [۱ و ۲].

یکی از مشکلات اصلی در این سیستم‌ها عدم توجه نداشتن به محدودیت منابع است. در این سیستم‌ها اگر منابع موجود برای تولید کافی نباشند، بخشی از تولید با تأخیر انجام می‌شود یا به وسیله‌ی تخصیص منابع اضافی مورد نیاز، تلاش در اجرای برنامه تولید در موعد تحویل می‌شود. از یک طرف این تأخیرها در برنامه تولید می‌تواند باعث ایجاد برنامه‌های غیر عملی شود و از طرف دیگر تخصیص منابع اضافی توسط هر یک از این سیستم‌ها باعث افزایش هزینه شده که با هدف کاهش هزینه در تناقض است [۳].

در این مقاله مسئله تعیین اندازه انباشته چندمحصولی چندمرحله‌ای با وجود محدودیت ظرفیت منابع تولیدی و با هدف حداقل کردن مجموع هزینه‌های راه‌اندازی تولید، نگهداری و تولید بررسی شده است. به عبارت دیگر، میزان تولید هر یک از محصولات در دوره‌های زمانی مختلف، به منظور تأمین تقاضای پیش‌بینی‌شده مشتریان در افق برنامه‌ریزی تولید، مشخص می‌شود.

*نویسنده مسئول : تلفن : ۶۴۵۴۲۷۸۴ ، فاکس : ۶۴۵۴۲۷۸۴ ، Email: fatemi@aut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

موضوع تخصیص و تسطیح منابع محدود برنامه‌ریزی تولید، با مقادیر تقاضای مشتریان و ظرفیت تولید در ارتباط مستقیم است و این رابطه به طور وسیع مطالعه شده است، اما پیشرفت اندکی در ارتباط با توزیع یکنواخت (تسطیح) منابع و محصولات در طول جدول زمانبندی تولید حاصل شده است[۴ و ۵]. بر این اساس تعداد زیادی از مسائل برنامه‌ریزی تولید، از جمله مسائل تخصیص و تسطیح منابع محدود در برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای، چندمحصولی با هزینه راه‌اندازی به عنوان مسائل NP-Hard طبقه‌بندی شده‌اند [۶]. با توجه به سابقه طولانی و اهمیت بسیار بالای مسئله تعیین اندازه انباشته در برنامه‌ریزی تولید، مقالات مروری متعددی در ادبیات این موضوع ارائه شده‌اند که می‌توانند مبنای مناسبی برای آشنایی با تحقیقات انجام شده ایجاد کنند. کوئیک و همکاران [۷] ساختاری را برای تصمیمات انباشته‌سازی براساس مطرح کردند آن را مبنایی برای دسته‌بندی تحقیقات انجام شده در این حوزه قرار دادند. مبنای ساختار ارائه شده توسط آنها بر اساس در نظر گرفتن تمایز میان تصمیمات انباشته‌سازی در سه سطح مختلف است که عبارتند از: انتخاب/ طراحی فرآیند، برنامه‌ریزی فعالیت و کنترل فعالیت. آنها به بحث درباره برخی از انتقادهای وارد در ارتباط با تحلیل‌های انباشته‌سازی پرداخته‌اند. رابینسون و همکاران [۸] در قالب یک مقاله مروری مسئله تعیین اندازه انباشته محصولات با تقاضای گسسته، گونه‌های مختلف این مسئله و روش‌های حل ابتکاری و دقیق مطرح شده در ادبیات موضوع را بررسی کردند. جانز و دگراور [۹] مرور جامعی در ارتباط با مقالات متعددی که در زمینه کاربرد الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسئله تعیین اندازه انباشته در ادبیات موضوع ارائه شده است، به انجام رسانده‌اند.

مهم‌ترین مؤلفه‌های مورد بحث در این مقاله مروری عبارتند از: نحوه نمایش، ارزیابی، تعریف همسایگی و عملگرهای مختلف مورد استفاده برای جستجوی فضای جواب.

روش‌های حل این مسائل اغلب به دو دسته روش‌های دقیق و ابتکاری تقسیم شده‌اند. ابسی و کداک [۱۰] مسئله تعیین اندازه انباشته چندمحصولی با ظرفیت محدود، زمان‌های راه‌اندازی، ذخیره احتیاطی و کمبود تقاضا را بررسی کردند، از تکنیک آزادسازی محدودیت ظرفیت منابع استفاده کرده و برای حل مسائل فرعی ایجادشده، الگوریتم برنامه‌ریزی پویا را ارائه کردند. با توجه به اینکه مسئله تعیین اندازه انباشته، جزو مسائل سخت محسوب می‌شود، برای حل این آنها روش‌های ابتکاری نسبت به روش‌های دقیق به صورت کاراتر عمل می‌نماید[۱۱]. با توجه به پیچیدگی مسئله تخصیص و تسطیح منابع محدود برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای، روش‌های ابتکاری و فراابتکاری به شکل گسترده‌ای توسط محققان مختلف برای حل آن، توسعه داده شده است. فرانکا و همکاران [۱۲] یک روش ابتکاری شامل چهار الگو بر اساس انتقال تولید بین دوره‌ها ارائه کردند. در این روش، جواب اولیه توسط الگوریتم واگنر-ویتین[۶] تولید می‌شود و سپس از شیوه‌های مختلفی برای تولید جواب شدنی، جواب بهتر و یا حتی جواب اولیه با کیفیت بهتر استفاده می‌شود. کوتاک و همکاران [۱۳] یک الگوریتم ابتکاری با عنوان الگوریتم اصلاح ضرایب با بالانس هزینه و کاهش راه‌اندازی برای یافتن جواب برای مسئله تعیین اندازه انباشته چندمحصولی در سیستم مونتاژ کلی و با فرض وجود محدودیت‌های منابع متعدد ارائه کردند.

اوزدامار و باربارسوقلو [۱۴] مسئله تعیین اندازه انباشته محصولات در یک سیستم تولید سریالی (چندمرحله‌ای) و همچنین بارگذاری آنها بر ماشین‌های موازی موجود در هر مرحله را با هدف برآورده کردن تقاضا در یک دوره برنامه‌ریزی، بررسی کردند. ظرفیت ماشین‌های موجود در مراحل مختلف محدود است. آنها برای حل مسئله مطرح شده از تکنیک آزادسازی لاگرانژ[۷] به همراه الگوریتم ژنتیک[۸] و شبیه‌سازی تبرید[۹] استفاده کردند. در ادامه، اوزدامار و باباروسوقلو [۱۵] دو الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله تعیین اندازه انباشته چندمحصولی و چندسطحی پویا با ساختار کلی محصول ارائه کردند. الگوریتم‌های طراحی‌شده بر مبنای ترکیب رویکرد آزادسازی لاگرانژی و ترکیب آن با دو نسخه مختلف از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید هستند. رجینا و لوئیز [۱۶] یک روش ابتکاری برای حل مسئله تعیین اندازه انباشته در حضور محدودیت ظرفیت ارائه کردند.

این مسئله عبارت است از تعیین مقدار تولید در دوره‌های زمانی مختلف به گونه‌ای که تقاضای پیش‌بینی‌شده بدون بروز کمبود پوشش داده شود. الگوریتم طراحی‌شده برگرفته از یک رویکرد فراابتکاری تکاملی، به عبارت دیگر الگوریتم ممتیک[۱۰] است. آلمدر [۱۷] از ترکیب یک الگوریتم مورچگان[۱۱] با یک حل‌کننده‌ی دقیق برنامه‌ریزی خطی (عددصحیح)، رویکردی برای حل مسئله تعیین اندازه انباشته

www.SID.ir

Archive of SID

چندسطحی با محدودیت ظرفیت ارائه کردند. از الگوریتم مورچگان برای تعیین تصمیم‌های اصلی تولید و از حل‌کننده برنامه‌ریزی خطی برای محاسبه مقدار تولید و سطح موجودی استفاده کردند.

وانگ و وو [۱۸] از ترکیب الگوریتم جستجوی همسایگی[۱۲] و الگوریتم ژنتیک برای طراحی رویکرد حلی برای مسئله‌ی تخصیص و تسطیح منابع محدود استفاده کردند. تمپلمیر و درستروف [۱۹] یک روش بر اساس ضرایب لاگرانژ توسعه دادند. آنها از راه حل واگنر- ویتین به عنوان یک جواب اولیه استفاده کرده و سپس با استفاده از ضرایب لاگرانژ سعی کردند تا یک راه حل عملی پیدا کنند. روش لاگرانژ برای تخصیص منابع محدود در مسائل برنامه‌ریزی تولید توسط محققان دیگری نیز به کار رفته و کارایی آن در تجزیه مسائلی که به منابع کمیاب می‌پردازند مورد تائید قرار گرفته است [۲۰ و ۲۱].

همان‌گونه که از مرور ادبیات موضوع مشاهده می‌شود غالب تحقیقات انجام شده در ارتباط با تخصیص و تسطیح منابع محدود در برنامه‌ریزی تولید تک‌محصولی بوده و ضرورت انجام تحقیقات بیشتر در حالت چندمحصولی احساس می‌شود.

هدف اصلی این مقاله ارائه یک روش ابتکاری بر اساس سیر تکامل الگوریتم‌های موجود برای تخصیص و تسطیح منابع محدود در مسائل برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای چندمحصولی چندپریودی با هزینه و زمان نصب و راه‌اندازی است. به طور خاص یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی[۱۳] توسعه داده شده است. در این الگوریتم علاوه بر جستجوی کلی برای دستیابی به جواب نزدیک بهینه از جستجوی محلی نیز استفاده کرده و برای تجزیه و تخصیص منابع محدود مسئله اصلی در مسائل کوچک از ضرایب لاگرانژ استفاده شده است. آزمایش‌های تجربی انجام شده کارایی این روش را مورد تائید قرار داده است. تکنیک‌های جستجوی محلی مورد استفاده در این مقاله بر اساس روش‌های جستجوی فرانکا است.

ساختار مقاله حاضر به این قرار است: در بخش دوم مدل ریاضی مسئله‌ی تحقیق و الگوریتم تجزیه تخصیص منابع محدود مسئله‌ی بزرگ به مسائل فرعی، به همراه مدل ریاضی هر یک از محصولات ارائه شده است. در بخش سوم به تشریح روش ابتکاری فرانکا پرداخته شده است. در بخش چهارم مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک ترکیبی بررسی شده است. روش تسطیح منابع باقیمانده در بخش پنجم آمده است. در بخش ششم الگوریتم حل مسئله ارائه شده و بخش هفتم به طراحی آزمایش‌های عددی و ارزیابی عملکرد الگوریتم اختصاص یافته است. در نهایت در بخش هشتم نتایج تحقیق حاضر تشریح شده است.

مدل ریاضی مسئله‌ی تحقیق

در این بخش به تشریح مدل تخصیص و تسطیح منابع محدود در مسائل برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای چندمحصولی و چندپریودی می‌پردازیم. در این مسئله (N) محصول مختلف داریم که در تخصیص منابع محدود با یکدیگر رقابت می‌کنند، بنابراین باید به نحوی عمل کرد که در عین در نظر گرفتن محدودیت منابع، دسته‌های تولیدی در هر یک از مراحل و پریودها به‌گونه‌ای تعیین شود که تقاضای همه‌ی محصولات در پریودهای مختلف تأمین شود.

متغیرها و عوامل تصمیم‌گیری:

N: تعداد محصولات $i = 1,2,...,N$

T: تعداد پریودها در افق برنامه‌ریزی تولید $t = 1,2,...,T$

X_{ijt}: اندازه تولید محصول i در مرحله j و پریود t

I_{ijt}: میزان موجودی محصول i در مرحله j و انتهای پریود t

Y_{ijt} $\begin{cases} 1 & \text{اگر کالای } i \text{ در مرحله } j \text{ و پریود } t \text{ تولید شود.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

A_{ijt}: هزینه راه‌اندازی برای تولید محصولi درمرحله j و پریود t

D_{it}: میزان تقاضای محصول i در پریود t

C_{jt}: زمان در دسترس برای انجام مرحله j در پریود t

a_{ij}: زمان تولید محصول i در مرحله j

H_{ijt}: هزینه نگهداری هر واحد محصول i در مرحله j و پریود t

S_{ij}: زمان راه‌اندازی برای تولید محصولi در مرحله j

V_{ijt}: هزینه متغیر تولید یک واحد کالای i در مرحله j و پریود t

تابع هدف:

$$Min \quad Z = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}\left[A_{ijt}.Y_{ijt} + V_{ijt}.X_{ijt} + H_{ijt}.I_{ijt}\right] \quad (۱)$$

محدودیت‌ها:

$$I_{i,M,t-1} + X_{i,M,t} - I_{i,M,t} = D_{it} \quad i = 1,2,...,N, t = 1,2,...,T \quad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$I_{i,j,t-1} + X_{i,j,t} = I_{i,j,t} + X_{i,j+1,t} \quad (۳)$$
$$i = 1,2,...,N \quad j = 1,2,...,M-1 \quad t = 1,2,...,T$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ijt}.a_{ijt} + S_{ijt} \le Y_{jt}C_{jt} \quad (۴)$$
$$j = 1,2,...,M \quad t = 1,2,...,T$$

$$(X_{ijt}, I_{ijt}) \ge 0 \quad (۵)$$
$$i = 1,2,...,N \quad j = 1,2,...,M \quad t = 1,2,...,T$$

$$Y_{ijt} \in \{0,1\} \quad (۶)$$
$$i = 1,2,...,N \quad j = 1,2,...,M \quad t = 1,2,...,T$$

در مدل ریاضی مسئله‌ی این تحقیق، رابطه (۱) بیانگر تابع هدف است که مجموع هزینه‌های راه‌اندازی، متغیر تولید و نگهداری موجودی را حداقل می‌کند. رابطه (۲) تضمین‌کننده‌ی تأمین تقاضای مشتریان در هر پریود است. رابطه (۳) نشان می‌دهد که مجموع جریان خارج شده از هر گره (i,j,t) در شبکه تولید، مساوی جریان وارد شده به همان گره است. رابطه (۴) محدودیت زمان تولید و راه‌اندازی لازم در هر یک از مراحل برای هر یک از محصولات است و روابط (۶ و ۵) بیانگر وضعیت متغیرهای تصمیم‌گیری است.

الگوی تجزیه و تخصیص منابع محدود مسئله اصلی تحقیق به مسائل فرعی

در مورد مسائلی که چند دسته محدودیت با ساختارهای متفاوت دارند، اغلب این سؤال مطرح است که کدام دسته از محدودیت‌ها را باید به عنوان عامل تجزیه در نظر گرفت؛ در مدل مورد بحث این تحقیق مشاهده می‌شود که تنها محدودیت (۴) در ارتباط با همه‌ی محصولات است. در مسئله‌ی دوگان این محدودیت، یک مجموعه از مضارب لاگرانژ (λ_{jt}) موجود است که سبب پیروی تابع هدف از محدودیت‌های (۲، ۳ و ۵) می‌شود و مسئله ترکیبی چند محصولی را به N مسئله یک محصولی تبدیل می‌کند. تیزی [۲۱] نشان داده است که نخست، ساده‌سازی لاگرانژ نسبت به سایر ساده‌سازی‌ها دقیق‌تر عمل می‌کند، دوم، ساده‌سازی لاگرانژ محدودیت ظرفیت، در مقایسه با سایر محدودیت‌ها محکم‌ترین حد پایین را نسبت به جواب بهینه ارائه می‌کند. سوم، استفاده از تکنیک تجزیه در تخصیص منابع محدود بر اساس ضرایب لاگرانژ در مدل‌های برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای و چندمحصولی باعث ساده‌سازی مدل اصلی به N مسئله مستقل خواهد شد.

برای تجزیه و تخصیص منابع محدود مسئله‌ی اصلی به N مسئله ابتدا نمادهای زیر تعریف می‌شوند:

a_{ij} : زمان تولید محصول i در مرحله j در کل پریودها که:

$$a_{ij} = \sum_{t=1}^{N} a_{ijt} \quad (۷)$$

$\overline{a_j}$: متوسط نرخ منابع مورد نیاز در مرحله j که:

$$\overline{a_j} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} a_{ij} \qquad j = 1,2,...,M \quad (۸)$$

C_j : زمان در دسترس مرحله j در کل پریودها که:

$$C_j = \sum_{t=1}^{N} C_{jt} \quad (۹)$$

سپس برای تعیین ایستگاه گلوگاه از رابطه (۱۰) استفاده می‌شود:

$$q = Min \quad \left\{\frac{C_1}{\overline{a}_1}, \frac{C_2}{\overline{a}_2}, ..., \frac{C_M}{\overline{a}_M}\right\} \quad (۱۰)$$

با فرض انتخاب ایستگاه j به عنوان ایستگاه گلوگاه، ظرفیت تخصیص داده شده به محصول i (تعریف می‌کنیم به عنوان R_i) در این ایستگاه به نسبت میزان مصرف ظرفیت ایستگاه (j) بصورت رابطه (۱۲) خواهد بود:

$$R_i = \frac{\overline{D_i}.a_{ij}}{\sum_{j=1}^{M} \overline{D_i}.a_{ij}} \qquad j = \text{ایستگاه گلوگاه} \quad (۱۱)$$

در رابطه بالا مقدار $\overline{D_i} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} D_{it}$ معادل متوسط مصرف محصول i در پریودهای $t = 1,2,...,T$ است که بر اساس مفهوم شناخته‌شده متوسط مقدار سفارش اقتصادی ویلسون (EOQ) بنا شده است [۲۳] و میزان تقاضا برای هر یک از محصولات در هر پریود به طور یکنواخت (متوسط) فرض شده است.

با توجه به نرخ مصرف محاسبه‌شده برای هر یک از محصولات (R_i) در ایستگاه (j)، ماتریس زمان تخصیص داده شده به هر یک از محصولات (C_{ij}) در جدول (۱) آورده شده است.

$$C_{ij} = \begin{bmatrix} C_1R_1 & C_2R_1 & \mathbf{L} & C_MR_1 \\ C_1R_2 & C_2R_2 & \mathbf{L} & C_MR_2 \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ C_1R_N & C_2R_N & \mathbf{L} & C_MR_N \end{bmatrix}$$

جدول۱: ماتریس ظرفیت.

www.SID.ir

Archive of SID

هر سطر ماتریس بالا بیانگر ظرفیت تفکیک‌شده برای هر یک از محصولات در مراحل مختلف است.

مدل ریاضی هر یک از محصولات

مدل برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای و چندپریودی برای محصول (i) با محدودیت ظرفیت تولید $(C_1R_i, C_2R_i, ..., C_MR_i) = (C'_1, C'_2, ..., C'_M)$ بعد از تجزیه مسئله اصلی به این ترتیب خواهد بود:

متغیرهای تصمیم‌گیری و عوامل:

A_{jt} = هزینه راه اندازی مرحله j در پریود t

X_{jt} = مقدار تولید مرحله j در پریود t

V_{jt} = هزینه متغیر تولید مرحله j در پریود t

h_{jt} = هزینه نگهداری موجودی مرحله j در پریود t

I_{jt} = مقدار موجودی مرحله j در پایان پریود t

C'_j = میزان ظرفیت تولید در مرحله j

D_t = میزان تقاضای محصول نهایی در پریود t

$Y_{jt} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ اگر محصول در مرحله j و پریود t تولید شود / در غیر اینصورت

تابع هدف:

$$Min \quad Z = \sum_{j=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}\left[A_{jt}.Y_{jt} + V_{jt}.X_{jt} + H_{jt}.I_{jt}\right] \quad (۱۲)$$

محدودیت ها:

$$I_{M,t-1} + X_{M,t} - I_{M,t} = D_t \qquad t = 1,2,...,T \quad (۱۳)$$

$$I_{j,t-1} + X_{j,t} - I_{j,t} - X_{j+1,t} = 0 \qquad j = 1,2,...,M-1 \quad t = 1,2,...,T \quad (۱۴)$$

$$\sum_{j=1}^{M}(a_{jt}X_{jt} + S_j) \le Y_{jt}C'_j \qquad j = 1,2,...,M \quad t = 1,2,...,T \quad (۱۵)$$

$$X_{jt} \le Y_{jt}C' \qquad j = 1,2,...,M \quad t = 1,2,...,T \quad (۱۶)$$

$$(X_{jt}, I_{jt}) \ge 0 \qquad j = 1,2,...,M \quad t = 1,2,...,T \quad (۱۷)$$

$$Y_{ijt} = \begin{cases} 1 & if \quad X_{j,t} \ge 0 \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad (۱۸)$$

در این مدل رابطه‌ی(۱۲) بیانگر تابع هدف است که مجموع هزینه‌های راه‌اندازی، متغیر تولید و نگهداری را حداقل می‌کند. رابطه‌ی(۱۳) تضمین‌کننده تأمین تقاضا در هر پریود است. رابطه‌ی (۱۴) نشان می‌دهد که مجموع جریان خارج شده از هر گره (j,t) در شبکه مساوی مجموع جریان وارد شده به همان گره است. رابطه‌ی (۱۵) محدودیت زمان تولید و راه‌اندازی لازم در هر یک از مراحل است. رابطه‌ی(۱۶) اطمینان می‌دهد که با شروع تولید هزینه‌ی نصب و راه‌اندازی در نظر گرفته شود و روابط (۱۷ و ۱۸) بیانگر وضعیت متغیرهای تصمیم‌گیری است.

روش ابتکاری فرانکا (H0)- ۱۹۹۷

در این بخش به تشریح روش ابتکاری فرانکا پرداخته و آن را H0 نامیده‌ایم. از شرح جزییات این روش، ایده‌هایی گرفته شده و این ایده‌ها در الگوریتم ژنتیک ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است. مراحل اصلی این روش ابتکاری به این شرح است:

روش دستیابی به راه حل اولیه (P1)

این روش، یک راه حل ابتدایی را توسط کاربرد پی در پی الگوریتم واگنر- ویتین فراهم می‌کند. الگوریتم واگنر- ویتین برای تعیین اندازه انباشته بهینه در مسائل برنامه‌ریزی تولید یک‌محصولی چندمرحله‌ای با محدودیت ظرفیت تولید به کار می‌رود. در این روش، ابتدا محدودیت ظرفیت نادیده گرفته شده و سپس برای محصولات نهایی اندازه انباشته تعیین می‌شود. انباشته‌های محاسبه‌شده در این مرحله، برابر تقاضای اقلام مرحله قبل است. این توالی برای حفظ شدنی‌بودن جواب مسئله ارائه شده است. بعد از M مرحله تکرار الگوریتم واگنر- ویتین یک راه حل اولیه به وجود می‌آورد. این راه حل ممکن است غیر عملی باشد، زیرا در این روش حل محدودیت ظرفیت تولید منابع نادیده گرفته شده است. اگر جواب این روش عملی نباشد، به مرحله دوم مراجعه کرده و در غیر این صورت باید به مرحله سوم مراجعه شود.

روش تخمین جواب اولیه (P2)

این روش با یک جواب اولیه غیر عملی شروع می‌شود. برای یافتن یک راه حل عملی از جا به جا کردن تولید بین دوره‌ها استفاده می‌شود. این کار دو مرحله دارد: پیشرفت به جلو و برگشت به عقب. در هر گام برای دوره‌های غیر عملی یک آزمایش برای انتقال تولید به بخش‌های دیگر انجام

www.SID.ir

Archive of SID

می‌گیرد. در این انتقال دو کمیت حداکثر ظرفیت تولید و میزان ظرفیت تولید مورد نیاز مقایسه می‌شود. مقداری از تولید در پریودهایی که با کمبود منابع مواجه هستند، به پریودهایی که ظرفیت آزاد دارند انتقال می‌یابد. در میان همه نقل و انتقالات ممکن، بهترین نوع انتقال با هدف حداقل کردن هزینه و ایجاد جواب عملی انتخاب می‌شود. این نقل و انتقال تا زمانی که برای پریود مورد بررسی جواب عملی حاصل شود، ادامه می‌یابد. سپس دوره‌های غیر عملی جدید شناسایی و تحلیل می‌شوند. هر دو گام تا رسیدن به یک جواب عملی و یا یک حداکثر تعداد تکرار از قبل تعیین‌شده، اجرا می‌شوند. اگر به وسیله این روش یک جواب عملی حاصل نشود، این راه حل با شکست مواجه شده است.

روش بهبود (P3)

این روش یک راه حل عملی را به عنوان ورودی دریافت کرده و سعی در بهبود آن دارد. روش بهبود برای کاهش هزینه‌ها از روش جا به جایی مقادیر تولید به سمت جلو و عقب استفاده می‌کند. این جا به جایی در ضمن هموار کردن میزان استفاده از منابع، عملی بودن جواب‌ها را حفظ می‌کند. این روش به عنوان یک جا به جایی محلی تلقی می‌شود. از این رو با شروع از یک جواب عملی و استفاده از جا به جایی‌ها در مقادیر تولید، برای پریودهای همجوار در جستجوی یک راه حل عملی با هزینه کمتر است. جا به جایی‌های همجوار مجموعه‌ای از همه راه‌حل‌ها است که می‌تواند با یک انتقال تولید حاصل شود. گام‌های انتقال به سمت جلو و عقب به طور متوالی تکرار می‌شود، تا اینکه دیگر هیچ بهبودی بعد از یک گام به سمت جلو یا عقب و یا حداکثر تعداد تکرار از قبل تعیین‌شده، حاصل نشود. این روش در نهایت با یک راه حل بهتر و یا در بدترین حالت با یک راه حل با هزینه مشابه تمام می‌شود.

روش ادغام کردن (P4)

جواب روش بهبود، یک نقطه شروع برای روش ادغام است؛ در صورتی که در روش بهبود هیچ بهبودی ایجاد نشده باشد، از جواب روش تخمین به عنوان یک نقطه شروع استفاده می‌شود. در این روش برای هر کالا در هر پریود مقادیر اضافه بار ماشین‌آلات انتخاب و جایگزین زمان آزاد ماشین‌آلات در پریودهای دیگر می‌شود. این نقل و انتقال بعد از N مرحله به پایان می‌رسد. برای چنین انتقال‌هایی دو هدف متفاوت وجود دارد. اگر راه حل اولیه این روش غیر عملی باشد، یک کوشش برای دستیابی به جواب عملی و یا کاهش میزان استفاده از منابع در دوره‌های مورد نظر خواهد بود. حال اگر راه حل اولیه این روش یک جواب عملی باشد، شیوه ادغام یک کوشش برای دستیابی به جواب با هزینه کمتر است.

مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک ترکیبی

الگوریتم ژنتیک یک رویکرد حل بسیار قدرتمند و یک تکنیک جستجو و بهینه‌سازی تصادفی بر مبنای تئوری تکامل است. توانمندی، کارایی و کاربرد همراه با موفقیت این روش در حل مسائل مختلف بهینه‌سازی ترکیباتی[۱۴] که فضای جواب بسیار ساختار نیافته دارند ، باعث شده است که در سال‌های اخیر توجه محققان به طور قابل ملاحظه‌ای به این روش جلب شود[۲۴]. الگوریتم ژنتیک در جستجوی فضای جواب، عملکرد خوبی دارد(ویژگی پراکندگی[۱۵]) اما در ارتباط با تمرکز در یک ناحیه خاص و جستجو در آن ناحیه خوب عمل نمی‌کند(ویژگی تمرکز[۱۶]). یکی از استراتژی‌هایی که به منظور دادن به این نقیصه مورد استفاده قرار می‌گیرد، ترکیب الگوریتم ژنتیک با روش‌های جستجوی همسایگی است. بنابراین، ضمن حفظ ویژگی مثبت پراکندگی در جستجوی فضای جواب توسط الگوریتم ژنتیک، ویژگی تمرکز در اطراف جواب‌های خوب نیز در این الگوریتم تقویت می‌شود. برای بهره‌مند شدن همزمان از ویژگی‌های پراکندگی و تمرکز در الگوریتم ژنتیک طراحی‌شده در مقاله حاضر، این الگوریتم با روش جستجوی همسایگی ترکیب شده است.

ارائه‌ی جواب اولیه

هر راه حل از روش یک ماتریس (T ×2M) حاصل می‌شود (M: تعداد عناصر و T: تعداد پریودهای زمانی است). این راه حل شامل اندازه انباشته و موجودی هر یک از عناصر در هر دوره است. این راه حل ممکن است عملی یا غیر عملی باشد. هر یک از راه حل‌ها به صورت جدول (۲) نشان داده می‌شود.

$$\left[\begin{array}{ccccc|cccc} X_{11} & X_{12} & X_{13} & \mathbf{K} & X_{1T} & I_{11} & I_{12} & I_{13} & \mathbf{K} & I_{1T} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & \mathbf{K} & X_{2T} & I_{21} & I_{22} & I_{23} & \mathbf{K} & I_{2T} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ X_{M1} & X_{M2} & X_{M3} & \mathbf{K} & X_{MT} & I_{M1} & I_{M2} & I_{M3} & \mathbf{K} & I_{MT} \end{array}\right]$$

جدول۲: ماتریس جواب اولیه.

www.SID.ir

Archive of SID

تابع انطباق

هر راه حل یک ارزش دارد. این ارزش در ارتباط با عملکرد واقعی راه حل است. بر این اساس برای هر یک از گروه‌های جامعه می‌توان راه حل‌های عملی و غیر عملی به دست آورد. یک روش برای کنترل راه حل‌های غیر ممکن استفاده از دو عامل هزینه و امکان‌پذیری به طور همزمان است. این روش را می‌توان به این ترتیب (۱۹) نشان داد:

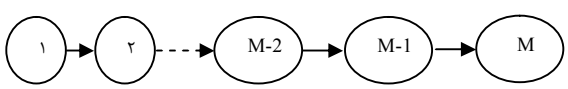
(۱۹)

$$Fitness\begin{cases} Z>0 & \text{مقدار تابع هدف برای راه حل عملی} \\ Z=0 & \text{مقدار تابع هدف برای راه حل غیرعملی} \end{cases}$$

در این راه حل، ارزش تابع هدف در صورت عملی بودن، برابر مقدار هزینه کل است و در غیر این صورت ارزش تابع هدف برابر صفر است. بنابراین تابع انطباق دو حالت دارد؛ یکی بیانگر مقدار هزینه برای راه حل‌های عملی و دیگری عملی بودن راه حل است.

اندازه و ساختار جمعیت

جمعیت این تحقیق M گروه دارد. ارتباط این گروه‌ها بر اساس سیستم تولید سری و دارای M سطح است. هر گروه از این جمعیت دو زیرمجموعه دارد. این دو زیرمجموعه بردار مقادیر تولید (X_{jt}) و بردار مقادیر موجودی (I_{jt}) نام دارند. هر یک از این گروه‌ها در سطوح متوالی از سلسله مراتب تولید قرار دارند. گروه (M) ریشه‌ی اصلی درخت محصول است. این گروه پیشرو یک گروه دنباله‌رو به نام (M-1) دارد. بر این اساس گروه دنباله‌رو (M-1) برای گروه (M-2) به عنوان گروه پیشرو تلقی می‌شود. در این صورت گروه (M-2) دنباله‌رو گروه (M-1) است. درخت محصول به همین صورت تا انتها طبق شکل (۱) ادامه می‌یابد.



شکل ۱: نمودار مراحل تولید هر یک از محصولات.

بر این اساس ساختار سلسله مراتبی محصول، بردار راه حل هر یک از گروه‌های دنباله‌رو را به یک بردار راه حل گروه پیشرو متصل می‌کند. با این روش، راه حل‌های هر گروه دنباله‌رو به گروه پیشرو منتقل و بهترین راه حل برای عناصر سطوح بالای سلسله مراتب محصول ضمانت می‌شود.

جمعیت اولیه

هر راه حل از جمعیت اولیه با استفاده از الگوریتم واگنر-ویتین مثل روش P1 در الگوریتم ابتکاری H0 به وجود می‌آید. نظر به اینکه این راه حل غیر عملی است، جریان P2 را پس از جریان P1 به کار می‌بریم. با هدف تولید راه‌حل‌های مختلف در مقادیر هزینه ثابت راه‌اندازی، تغییراتی به وجود می‌آوریم. این تغییرات به طور تصادفی برای هر دوره زمانی از بین دو عدد صد برابر و یا یک صدم هزینه راه‌اندازی انتخاب می‌شود. این تغییرات در برخی دوره‌ها باعث هزینه راه‌اندازی بالا و در موارد دیگر باعث هزینه راه‌اندازی پایین می‌شود. از طرف دیگر برای تولید راه حل‌های بیشتر از تابع توزیع یکنواخت برای مقادیر انباشته و موجودی در فواصل مجاز به طور تصادفی استفاده می‌شود. این روش‌ها در بخش‌های (۶-۴) و (۷-۴) به عنوان دو روش ترکیب بررسی خواهند شد. به کمک این دو روش علاوه بر دستیابی به راه‌حل‌های بیشتر به هموارسازی فرآیند تولید نیز دسترسی پیدا می‌شود.

ترکیب سلسله مراتب تولید

در این مرحله هر یک از گروه‌های دنباله‌رو با گروه‌های پیشرو ترکیب شده و هر ترکیب یک راه حل جدید تولید می‌کند. این گروه از راه‌حل‌های جدید به جمعیت فعلی اضافه می‌شود. برای مثال طبق شکل (۱) گروه (۱) از طریق ترکیب گروه دنباله‌رو (۱) و گروه پیشرو (۲) حاصل می‌شود. راه حل جدید گروه (۲) از طریق ترکیب گروه دنباله‌رو (۲) و گروه پیشرو (۳) حاصل می‌شود. این فرآیند تا رسیدن به مرحله نهایی در گروه دنباله‌رو M و میزان تقاضا ادامه می‌یابد.

از آنجایی که ساختار سلسه مراتبی سری هر زیرمجموعه فقط یک دنباله‌رو دارد، یک عمل جایگزین به وجود می‌آید. در نتیجه این عملیات ترکیب، M گروه جدید به وجود می‌آید. در این تحقیق برای ایجاد هر ترکیب، یک الگوریتم طراحی و آزمایش شده است. گروه‌های ترکیبی جدید باید به جمعیت اولیه اضافه شود. در هر صورت این گروه‌های ترکیبی به طور شدید به نوع ساختار محصول وابسته هستند.

بنابراین آنها به عنوان یک راه حل پیشنهادی شناخته می‌شوند. این الگوریتم با عناصر نهایی که در پایین‌ترین سطح محصول نهایی قرار دارند، شروع شده و سپس به سراغ ساختار تولیداتی رفته که در بالاترین سطح محصول نهایی قرار دارند. این موضوع میزان عملی‌بودن جواب را با توجه به محدودیت‌ها نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

ترکیب MA

مقدار تولید و موجودی هر یک از فرزندان به روش زیر محاسبه می شود:

(۲۰)

$$\begin{cases} X_{jt}^{offspring}=0, \quad I_{jt}^{offspring}=-a_{jt} & if \ a_{jt}\le 0 \\ X_{jt}^{offspring}=u\left[a_{jt}, X_{jt}^{parent1}\right] \quad I_{jt}^{offspring}=X_{jt}^{offspring}-a_{ij} & if \quad a_{jt}>0 \end{cases}$$

$$j=1,2,...,M \quad t=1,2,...,T$$

بطوریکه

$$a_{jt}=D_{jt}-X_{jt}^{offspring}-I_{j,t-1}^{offspring} \qquad (۲۱)$$

$$j=1,2,...,M \quad t=1,2,...,T$$

معادله (۲۱) بر ظرفیت تولید عنصر j در پریود t اشاره دارد. اگر ($a_{jt}\le 0$) باشد، تولید این عنصر در دوره زمان t ضروری نیست. اگر ($a_{jt}>0$) باشد، کمترین مقدار مورد نیاز عنصر تولیدی (j) در پریود (t) برای عملی بودن برابر a_{jt} است. تابع توزیع (a, b) مقادیر تولید تصادفی یکنواخت در بازه (a, b) را نشان می‌دهد. این تابع برای تنوع راه حل‌ها در جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقایسه تولید تصادفی با استفاده از حداقل مقادیر تولید مورد نیاز (a_{jt}) و میزان تولید گروه پیشرو در ساختار سلسله مراتبی ($X_{jt}^{parent1}$) انجام می‌گیرد. سپس با استفاده از میزان انباشته جدید($X_{jt}^{offspring}$) و رابطه (۲۰) میزان موجودی ($I_{jt}^{offspring}$) تعیین می‌شود. این عمل طبق روش (P1) تا زمانی ادامه می‌یابد که میزان تولید و موجودی همه عناصر تعیین شود. سپس یک جریان هموارکننده صورت می‌گیرد. هدف این جریان تغییر دادن و به هنگام کردن موجودی تمام عناصر در پریودهای $(0-T)$ است[۲۸].

ترکیب واگنر- ویتین

این ترکیب از الگوریتم واگنر- ویتین استفاده می‌کند. بر این اساس اعمال تغییرات در هزینه‌های راه‌اندازی به صورت تصادفی برای برخی عناصر و در بعضی پریودها به شرح روابط (۲۲ و ۲۳) انجام می‌گیرد:

$$\begin{cases} S_{jt}\times 100 & if \quad X_{jt}^{parent1}=0, \quad and \quad X_{jt}^{parent2}=0 \qquad (۲۲) \\ S_{jt}\times 100 & if \quad X_{jt}^{parent1}>0, \quad and \quad X_{jt}^{parent2}>0 \qquad (۲۳) \end{cases}$$

بنابراین الگوریتم واگنر- ویتین برای هر یک از مراحل محصول تولیدی به کار برده می‌شود. باید توجه داشت که این تغییرات هزینه راه‌اندازی، در برآورد هزینه تولید قطعات سطوح بعدی، برای پریودهای دیگر تأثیر دارد. این تأثیرات به وضعیت تولید قطعه‌های سطوح بالاتر در پریودهای قبلی بر می‌گردد. جوابی که در اینجا تولید می‌شود از نظر محدودیت‌های (۱۴) و (۱۳) یک جواب عملی است. اما این راه حل ممکن است از نظر محدودیت ظرفیت منابع (۱۵) عملی نباشد. در این شرایط از جریان هموارکننده‌ای که توسط فرانکا و همکارانش ارائه شده است، استفاده می‌شود. چنانچه پیش از این توضیح داده شد، این جریان هموارکننده برای دستیابی به یک راه حل عملی به کار گرفته می‌شود. در صورتی که راه عملی باشد، باید از جریان بهبوددهنده استفاده کرد. برای انتخاب عناصر در ترکیب واگنر- ویتین از توزیع یکنواخت u(1,M) استفاده می‌شود[۲۱].

جهش

الگوریتم ژنتیک ترکیبی در بعضی مواقع از روش‌های تصادفی برای تغییر راه حل‌ها بدون توجه به میزان انطباق آنها استفاده می‌کند. ابتدا به کمک روش P4 قبل از جهش، میزان سازگاری و انطباق راه حل‌ها برای ترکیب و ادغام بررسی می‌شود. بعد از ترکیب، عملیات جهش در هر پریود با احتمال u(0,1) اجرا می‌شود. در این عملیات M عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌شود. برای هر گروهی که عدد تصادفی تولیدشده کمتر از ۰/۱ باشد، عملیات جهش به شکل روابط (۲۴)، (۲۵) و (۲۶) انجام می شود:

$$X'_{jt}=X_{jt}+0/1(C'_j-X_{jt}) \quad if \quad X_{jt}\le C'_j \qquad (۲۴)$$

$$X'_{jt}=X_{jt}-0/1(X_{jt}-a_{jt}) \quad if \quad X_{jt}>C'_j \qquad (۲۵)$$

$$I'_{jt}=X_{jt}-a_{jt} \qquad j=1,2,...,M \quad t=1,2,...,T \qquad (۲۶)$$

از بین روابط (۲۵ و ۲۴) با توجه به شرایط محدودیت منابع و میزان تولید، یکی از روابط انتخاب می‌شود. این گروه‌های جدید نیز به جمعیت اولیه اضافه می‌شوند.

شروع دوباره (انتخاب)

در این الگوریتم از استراتژی شروع دوباره استفاده می‌شود، زیرا جمعیت موجود تعداد بسیار کمی از راه حل‌های بررسی‌شده را نشان می‌دهد. ابتدا همه راه حل‌های

www.SID.ir

Archive of SID

جمعیت موجود اجرا شده و سپس در هر گروه، راه حل با کمترین مقدار تابع هدف، انتخاب می‌شود. این راه حل بهترین راه حلی است که تاکنون شناخته شده است. این راه‌حل‌ها مشابه راه حل‌های موجود در جمعیت اولیه هستند، با این تفاوت که ممکن است مقدار تابع هدف بهتری داشته باشند. اما برای توسعه تعداد جواب‌ها، برخی از مراحل روش H0 باید تکرار شود. مقادیر تولیدشده در شروع دوباره، زمانی به کار می‌رود که بار دیگر از روش شروع دوباره استفاده شود. در این آزمایش‌ها از ۲۰ مرتبه شروع دوباره استفاده شده است.

در HGA معیار توقف می‌تواند برابر بیشترین تعداد راه حل‌های تولیدشده و یا محدودیت زمانی اجرا باشد، اگر در انتهای این الگوریتم راه حل عملی مشاهده نشود، امکان اظهار نظر با اطمینان خاطر وجود ندارد؛ حتی در صورت وجود یک راه حل، نمی‌توان عملی‌بودن آن را ضمانت کرد. مراحل اجرای روش HGA در شکل (۲) آمده است.

نتایج محاسباتی

روش الگوریتم ژنتیک ترکیبی توسط زبان Visual Basic برنامه‌نویسی شده است. برای آزمایش این برنامه از ۳۰۰ مسئله با ابعاد مختلف استفاده شده است. دامنه‌ی مثال‌های این تحقیق در جدول (۳) نشان داده شده است. این دامنه‌ها توسط ریگنا به کار گرفته شده است.

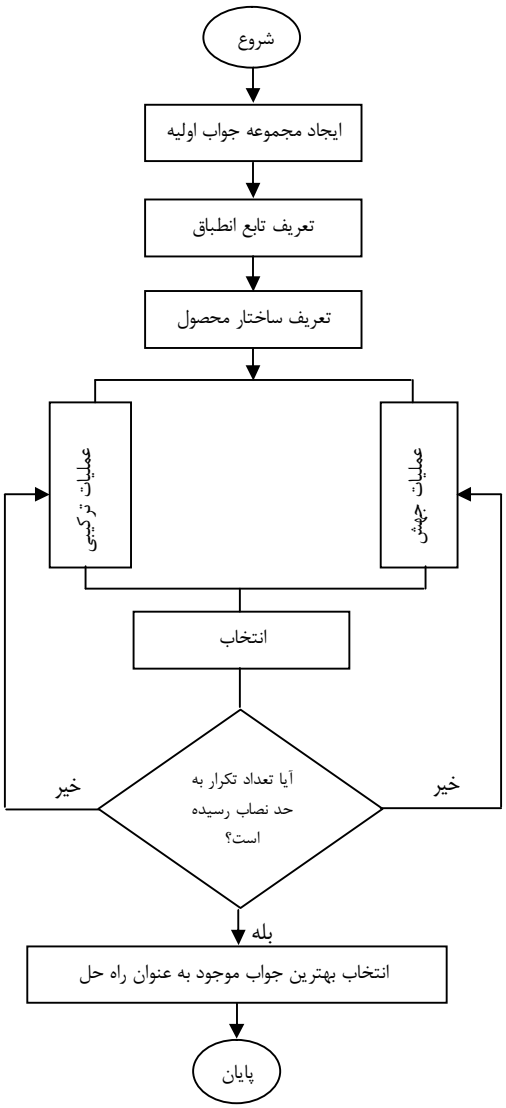
جدول۳: توزیع یکنواخت مثال‌های تصادفی.

Parameter	Interval
C_{jt}	u(1.5,3)
A_{jt} *for low setup cost*	u(15,90)
A_{jt} *for high setup cost*	u(50,950)
H_{jt}	u(0.2,0.5)
d_{jt} *for find items*	u(0,200)
d_{jt} *for no find items*	U(0,20)

جدول٤: مقایسه نتایج روش HGA با MA و H0.

تعداد مراحل	H0	MA	HGA
۱۰	۹/۴	۸/۷۱	۷/۴۵
۲۰	۱۱/۵۱	۱۰/۹	۹/۸۱
۳۰	۱۲/۸۲	۱۲/۳۵	۱۱/۲۷
۴۰	۱۶/۲۲	۱۵/۳۶	۱۴/۴۴
۵۰	۲۵/۳۱	۲۲/۸۱	۲۱/۳۱

در این مسائل از ساختار تولید سری استفاده شده است. ساختار سری بدین معنا است که هر عنصر به طور دقیق یک نمونه قبلی و یک نمونه بعدی دارد. تعداد مراحل موجود در مسائل و نتایج مقایسه‌ای به شرح جدول (۴) است. در هر سطر جدول (۴) تعداد ۵۰ مسئله نمونه با استفاده از توابع توزیع جدول (۳) تولید و مقدار تابع هدف آن در سه روش HGA, H0 و الگوریتم ممتیک مقایسه شده است. در جدول (۴) مشاهده می‌شود که جواب روش HGA نسبت به روش‌های H0 و MA هزینه کمتری دارد.



شکل ۲: مراحل اجرای HGA .

تسطیح منابع باقیمانده

در این مرحله برای انجام تسطیح منابع، میزان ظرفیت باقیمانده (مازاد) برای هر یک از مسائل فرعی توسط رابطه (۲۷) محاسبه می‌شود.

$$RC_i = (C'_j - \sum_{j=1}^{M} \overline{D_i}.a_{ij}) \qquad (۲۷)$$

www.SID.ir

Archive of SID

کل ظرفیت باقیمانده[۱۷] توسط رابطه‌ی(RCT=$\sum_{j=1}^{M} RC_j$) محاسبه می‌شود. این ظرفیت باقیمانده به نسبت ظرفیت منابع استفاده شده در هر یک از مسائل جزیی تقسیم می‌شود. به عبارت دیگر عملیات تسطیح منابع باقیمانده بدین صورت است که به مسائل فرعی با ظرفیت باقیمانده زیادتر، مقدار ظرفیت کمتری تخصیص می‌یابد و به مسائل فرعی با ظرفیت باقیمانده کمتر، مقدار ظرفیت بیشتری تخصیص می‌یابد. عملیات تسطیح منابع مورد نظر طبق رابطه‌ی(۲۸) انجام می‌شود تا حتی‌الامکان جواب‌های موجه بهتری حاصل شود.

$$CA_i = RCT.\frac{\overline{D_i}.a_{ij}}{\sum_{i=0}^{N} C'_j a_{ij}} \qquad (۲۸)$$

در رابطه ۲۸، CA_i بیانگر ظرفیت تخصیص‌یافته به محصول iام است. هر یک از مسائل فرعی با ظرفیت‌های جدید تعدیل‌شده بار دیگر به وسیله‌ی الگوریتم ژنتیک ترکیبی حل می‌شود. بنابراین با توجه به افزایش ظرفیت منابع در مسائلی که به ظرفیت بیشتری نیاز دارند و کاهش ظرفیت منابع در مسائلی که به ظرفیت منابع کمتری نیاز دارند(تسطیح منابع)، مقدار هزینه کل کاهش می‌یابد. این عملیات تا جایی ادامه می‌یابد که اختلاف هزینه کل در دو مرحله متوالی (ΔTC) از عدد (ε) کمتر شود. مقدار عدد (ε) با توجه به دقت مورد نیاز حل تعیین می‌شود.

الگوریتم حل مسئله‌ی اصلی

قدم۱: تبدیل مسئله‌ی اصلی با استفاده از ضرایب لاگرانژ در منابع کمیاب به N مسئله‌ی فرعی؛

قدم۲: حل هر یک از مسائل فرعی به وسیله‌ی الگوریتم ژنتیک ترکیبی؛

قدم۳: محاسبه‌ی ظرفیت باقیمانده هر یک از مسائل فرعی نسبت به ظرفیت تخصیص‌یافته؛

قدم۴: انجام عملیات تسطیح منابع برای کل ظرفیت‌های RCT ؛

قدم۵: برگشت به قدم دوم و ادامه تا رسیدن به شرط توقف.

طراحی آزمایش‌ها

برای بررسی میزان کارایی الگوریتم‌های ارائه‌شده تعداد ۳۰۰ مسئله‌ی تصادفی با ابعاد مختلف طراحی شده است. مشخصات این مسائل به صورت زیر است:

۱- ابعاد مسائل ایجاد شده در محدوده (3×3×5) = (N.M.T) الی (5×8×15) = (N.M.T) است. لیست مسائل تولیدشده در جداول ۵ و ۶ آمده است.

۲- هزینه و زمان راه‌اندازی هر یک از محصولات در هر پریود به طور تصادفی و جداگانه از توزیع یکنواخت (۱۵ و ۰) انتخاب شده‌اند.

۳- هزینه نگهداری موجودی و هزینه متغیر تولید هر یک از محصولات در هر پریود نیز به طور جداگانه از توزیع یکنواخت (۱۵ و ۰) انتخاب شده‌اند.

۴- میزان تقاضای هر یک از محصولات در هر پریود به طور تصادفی از توزیع یکنواخت (۱۵ و ۰) انتخاب شده است.

۵- میزان ظرفیت تولید ماشین‌آلات در هر مرحله به طور تصادفی از توزیع یکنواخت (۳۵ و ۱۵) انتخاب شده‌اند.

برای کدنویسی دو الگوریتم طراحی‌شده در این مقاله که عباتند از ترکیب الگوریتم ژنتیک- آزارسازی لاگرانژ و الگوریتم ممتیک از زبان برنامه‌نویسی Visual Basic (VB) استفاده شده است. نتایج مقایسه‌ای از جنبه زمان حل و هزینه کل در جداول (۵) و (۶) ارائه شده است.

جدول ۵: مقایسه نتایج روش HGA-LR با روش‌های Lingo و MA از نظر هزینه کل.

Problem Size (N.M.T)	Number of Problems Solved	کل هزینه (دلار)		
		MA	Lingo	HGA-LR
3*3*5	5	48	45	45
3*3*10	8	85	83	72
3*3*15	10	97	92	93
3*4*5	5	85	74	85
3*4*10	8	99	83	96
3*4*15	10	135	132	131
3*5*5	5	335	221	219
3*5*10	8	317	245	232
3*5*15	10	328	282	215
3*6*5	5	299	245	225
3*6*10	8	318	314	278
3*6*15	10	339	-	305
4*3*5	5	341	322	321
4*3*10	8	482	425	428
4*3*15	10	518	-	482
4*4*5	5	485	325.25	352
4*4*10	8	496	-	485
4*4*15	10	-	-	491
4*5*5	5	568	-	542
4*5*10	8	593	-	594
4*5*15	10	-	-	632
4*6*5	5	625	-	615
4*6*10	8	-	-	594
4*6*15	10	-	-	624
5*7*5	5	-	-	722
5*7*10	8	-	-	748
5*7*15	10	-	-	827
5*8*5	5	-	-	752
5*8*10	8	-	-	832
5*8*15	10	-	-	925

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مقایسه‌ای نشان می‌دهد که HGA-LR علاوه بر ارائه جواب‌های بهتر با هزینه کمتر، مسائل را در زمان کمتری حل می‌کند. این الگوریتم HGA-LR قادر است مسائل با ابعاد بزرگ‌تر که توسط نرم‌افزار Lingo و الگوریتم MA در زمان ۱۰ ساعت حل نشده‌اند را در زمان کمتر و با جواب‌های نزدیک بهینه حل کند. مقدار بهبود حاصل توسط الگوریتم HGA-LR با توجه به مسائل حل‌شده به میزان ۲۵/۲۸ درصد کاهش زمان و ۱۹/۳۴ درصد کاهش هزینه است.

جدول ٦: مقایسه نتایج روش HGA-LR با روش‌های , Lingo MA از نظر هزینه کل.

Problem Size (N.M.T)	Number of Problems Solved	زمان حل (دلار)		
		MA	Lingo	HGA-LR
3*3*5	5	0.451	0.321	0.232
3*3*10	8	0.691	0.592	0.691
3*3*15	10	1.582	1.221	0.895
3*4*5	5	2.221	2.251	1.851
3*4*10	8	3.820	3.341	2.952
3*4*15	10	5.892	8.252	7.211
3*5*5	5	14.595	20.281	11.127
3*5*10	8	17.621	36.328	15.351
3*5*15	10	19.422	40.271	15.854
3*6*5	5	127.323	245.292	112.217
3*6*10	8	215.252	385.291	175.241
3*6*15	10	218.251	-	215.361
4*3*5	5	315.261	485.121	225.845
4*3*10	8	319.427	495.285	252.481
4*3*15	10	325.428	-	251.253
4*4*5	5	428.426	411.516	322.271
4*4*10	8	432.251	-	324.265
4*4*15	10	-	-	392.276
4*5*5	5	545.812	-	412.291
4*5*10	8	592.581	-	431.297
4*5*15	10	-	-	480.353
4*6*5	5	661.357	-	482.521
4*6*10	8	-	-	511.267
4*6*15	10	-	-	520.827
5*7*5	5	-	-	525.924
5*7*10	8	-	-	548.238
5*7*15	10	-	-	565.278
5*8*5	5	-	-	522.299
5*8*10	8	-	-	582.258
5*8*15	10	-	-	592.257

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک روش الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای تجزیه مسائل پیچیده و بزرگ و تخصیص منابع محدود به مسائل فرعی کوچک بر پایه ضرایب لاگرانژ و ترکیب آن با الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای تعیین اندازه انباشته پویا در مسائل برنامه‌ریزی تولید چندمرحله‌ای چندمحصولی و چندپریودی با هدف حداقل کردن مجموع هزینه‌های تولید، راه‌اندازی و نگهداری موجودی ارائه شده است.

مراحل این روش ابتکاری با تجزیه و تخصیص منابع محدود مسئله‌ی اصلی به N مسئله‌ی فرعی شروع می‌شود. پس از حل هر یک از مسائل فرعی به وسیله الگوریتم ژنتیک ترکیبی (الگوریتم ژنتیک + جستجوی محلی)، ظرفیت‌های باقیمانده محاسبه توسط یک الگوریتم ابتکاری و تسطیح منابع انجام می‌شود. این مراحل تا رسیدن به شرط توقف ادامه خواهد یافت.

نتایج محاسباتی بیانگر آن است که روش تجزیه و ترکیب بر پایه ضرایب لاگرانژ منابع محدود به همراه الگوریتم ژنتیک ترکیبی، راه حل مناسبی را برای تعیین اندازه انباشته در مسائل مشابه این تحقیق فراهم می‌کند. به عبارت دیگر الگوریتم HGA-LR به میزان ۲۵/۲۸ درصد کاهش زمان و ۱۹/۳۴ درصد کاهش هزینه نسبت به روش‌های موجود (Lingo , MA) عمل می‌کند.

همچنین می‌توان به عنوان تحقیقات بعدی با تلفیق روش تجزیه و تحلیل بر پایه ضرایب لاگرانژ منابع کمیاب و روش‌های فراابتکاری در عملیات تخصیص و تسطیح منابع جواب‌های مناسب‌تری حاصل کرد.

مراجع

1- Mooso, S., Henry, C. and Mark, G. (2004). "Production scheduling in a flexible manufacturing system under random demand." *European Journal of Operational Research*, Vol. 158, PP. 89-102.

2- Johnny, C. and Yih, L.C. (2003). "A new MRPLGT lot sizing heuristic: a simulation study." *Production Planning and Control*, Vol. 14, PP. 215-224.

3- Franca, P.M., Armentano, V.A., Berietta, R.T. and Clark, A. (1992). "A heuristic for lot-sizing in multi-stage systems." *Computers and Operations Research*, Vol. 24, No. 9, PP. 861-874.

4- Carvalho, M.F., Fermandes, C.A.O. and Ferreira, P.A.V. (1995). "Multi-product multi-stage production scheduling for manufacturing systems." *Production Planning and Control*, Vol. 10, No. 7, PP. 671-681.

www.SID.ir

5- Chu, S.C.K. (1995). "A mathematical programming approach towards optimized master production scheduling." *International Journal of Production Economics*, Vol. 38, PP. 269-279.

6- Florian, M., Lenstra, J.K. and Rinnooy Kan, A.H.G. (1980). "Deterministic production planning and complexity." *Management Science*, Vol. 26, PP. 669-679.

7- kuik, R., Solomon, M. and Van Wassen hove, L.N. (1994). "Batching decitions: structure and models." *European Journal of Operational Research*, Vol. 75, PP. 243-263.

8- Robinson, P., Narayanan, A. and Sahin, F. (2009). "Coordinated deterministic dynamic demand lot-sizing problem: A review of models and algorithms." *Omega*, Vol. 37, PP. 3–15.

9- Jans, R. and Degraeve Z. (2007). "Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches." *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, PP. 1855–1875.

10- Absi, N. and Kedad-Sidhoum, S. (2009). "The multi-item capacitated lot-sizing problem with safety stocks and demand shortage costs." *Computers & Operations Research*, Vol. 36, PP. 2926-2936.

11- Bitran, G.R. and Yanasse H.H. (1982). "Computational complexity of the lot size problem." *Management Science*, Vol. 28, PP. 44-56.

12- Franca, P.M., Armentano, V.A., Berretta, R.E. and Clark, A. (1997). "A heuristic for lot-sizing in multi-stage systems." *Computers and Operations Research*, Vol. 24. No. 9, PP. 861-874.

13- Katok, E., Lewis, H.S. and Harrison, T.P. (1998). "Lot sizing in general assembly systems with setup costs, setup times and multiple constrained resource." *Management Science*, Vol. 44, No. 6, PP. 859-877.

14- Ozdamar, L. and Barbarosoglu, G. (1999). "Hybrid heuristics for the multi-stage capacitated lot sizing and loading problem." *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, No. 8, PP. 810-815.

15- Ozdamar, L. and Barbarosoglu, G. (2000). "An Integrated Lagrangean relaxation-simulated annealing approach to the Multi-level, Multi-item capacitated lot-sizing problem." *International Journal of Production Economics*, Vol. 68, PP. 319-331.

16- Regina, B. and Luiz, F.R. (2004). "A memetic algorithm for a multi-stage capacitated lot-sizing problem." *International Journal of Production Economics*, Vol. 87, No. 1, PP. 67-81.

17- Almeder, C. (2010). "A hybrid optimization approach for multi-level capacitated lot-sizing problems." *European Journal of Operational Research*, Vol. 200, PP. 599–606.

18- Wang, H.F. and Wu, K.Y. (2001). "Hybrid genetic algorithm for models with permutation property." *Computers and Operations Research*, Vol. 31, No. 14, PP. 2453-2471.

19- Tempelmeir, H. and Derstroff, M. (1996). "A lagrangean – bused heuristic for dynamic multi – level multi–time constrained lot-sizing with setup times." *Management Science*, Vol. 42. No. 5, PP. 738-757.

20- Linet, O. and Gulay, B. (2000). "An integrated Lagrangean relaxation-simulated annealing approach to the multi-item capacitated lot sizing problem." *International Journal of Production Economic*, Vol. 68, PP. 319-331.

21- Sambasivan, M. and Yahya, S. (2004). "A lagrangain-based heuristic for multi-plant, multi-item, multi-Period Capacitated lot-sizing." *International Journal of Production Economic*, Vol. 134, PP. 285-301.

www.SID.ir

Archive of SID

22- Thizy, J.M. (1991). "Lagrangain heuristics for the capacitated multi-item capacitated lot sizing problem." *Inform*, Vol. 29, No. 4, PP. 271-283.

23- Wilson, R.H. (1934) A scientific routine for stock control, Harvard Business Review, Vol. 13, PP. 116-128.

24- Gen, M. and Cheng, R. (1997). *Genetic algorithms and engineering design*. Wiley Pub. Co., New York.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Material Resource Planning (MRP)
2- Material Resource Planning II (MRPII)
3- Enterprise Resource planning (ERP)
4- Master Production Schedule (MPS)
5- Bill of Material (BOM)
6- Wagner-Within Algorithm (WW)
7- Lagrangean Relaxation (LR)
8- Genetic Algorithm (GA)
9- Simulated Annealing (SA)
10- Memetic Algorithm (MA)
11- Ant-Colony Algorithm (ACA)
12- Neighborhood Search (NS)
13- Hybrid Genetic Algorithm (HGA)
14- Combinatorial Optimization
15- Diversification
16- Intensification
17- Remaining Capacity Total (RCT)

www.SID.ir