

توسعه طرح‌ریزی و زمان‌بندی یکپارچه فرایند در شرایط انعطاف‌پذیر با لحاظ

چند هدف مبتنی بر تئوری بازی همکارانه

مجید کردبچه^۱، رامین صادقیان^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

خلاصه

طرح‌ریزی فرایند و زمان‌بندی دو حوزه کلیدی با اهداف مختلف در سیستم ساخت هستند. به‌طور سنتی این دو حوزه جداگانه و به‌طور متوالی، با یک معیار بهینه‌سازی با لحاظ مفروضاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شرایط واقعی این مفروضات نظیر در دسترس بودن دائمی منابع و ماشین‌آلات و عدم وجود انعطاف‌پذیری در طرح‌ریزی فرایند، حل مسئله را فاقد جواب موجه می‌سازد. در این تحقیق به منظور افزایش کارایی و انطباق بیشتر با دنیای واقعی، بهینه‌سازی مسئله طرح‌ریزی و زمان‌بندی فرایند با چهار معیار و لحاظ قابلیت انعطاف‌پذیری در ترتیب انجام فعالیت‌های کار و تنظیمات پویا، نظیر خرابی ماشین و ورود محصول جدید انجام پذیرفته است. در فرایند حل مسئله، تئوری بازی مبتنی بر روش سازشکارانه توسعه داده شده و الگوریتم ترکیبی فراابتکاری (ژنتیک و جستجوی ممنوعه) مورد استفاده قرار گرفته است. اعتبارسنجی رویکرد نشان‌دهنده این است که رویکرد توسعه داده شده یک روش مناسب و اثربخش در حل مسئله چندهدفه، با لحاظ محدودیت‌های ذکر شده می‌باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۵/۰۷/۰۹

پذیرش ۱۳۹۶/۱۲/۰۵

کلمات کلیدی:

طرح‌ریزی و زمان‌بندی

یکپارچه فرایند

تئوری بازی مبتنی بر همکاری

فراابتکاری

چندهدفه

تنظیمات پویا

۱- مقدمه

طرح‌ریزی و زمان‌بندی فرایند^۱ در دهه‌های اخیر به‌عنوان پلی بین طراحی به کمک کامپیوتر^۲ و ساخت به کمک کامپیوتر^۳ ایفای نقش می‌نماید و جهت فراهم آوردن بازخورد سریع بین طراح، قابلیت‌های ساختی، برآورد هزینه و کاهش زمان توسعه محصول عمل می‌نماید. به‌طور سنتی ابتدا طرح‌ریزی فرایند انجام و پس از آن زمان‌بندی صورت می‌پذیرد که این خود منجر به عدم پاسخگویی سریع و بهبود بهره‌وری در حل این نوع مسائل می‌شود [۱].

لذا ایجاد یک سیستم یکپارچه از نگاه صرف بالا به پایین

(طرح‌ریزی فرایند به زمان‌بندی) جلوگیری نموده و تغییرات و وضعیت کارگاه در زمان‌بندی مورد توجه قرار خواهد گرفت (نگاه پایین به بالا) و این توجه باعث باز طرح‌ریزی فرایندها می‌گردد. مسائل زمان‌بندی در ابتدا متمرکز بر کارایی الگوریتم‌هایی برای حل انواع مختلف مسائل از جمله: نمودار گردش کار در کارگاه^۴، ایستگاه کاری^۵، برنامه‌ریزی ماشین‌های موازی^۶ و ... بودند. بیشتر مسائل برنامه‌ریزی از جمله مسئله IPPS جزء مسائل پیچیده با سختی

1. IPPS- Integrated process planning and scheduling
2. Computer aided for design-CAD
3. Computer aided for manufacture-CAM
4. Flow shop
5. Jobshop
6. Scheduling on parallel machines

* نویسنده مسئول: رامین صادقیان

تلفن: ۰۲۱-۸۴۲۳۴۳۸۴؛ پست الکترونیکی: sadeghian@pnu.ac.ir

بالا^۱ می‌باشد [۲].

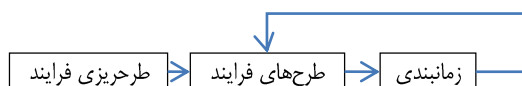
سایر تحقیقات این ابعاد از اهداف به‌طور هم‌زمان لحاظ نشده است. همچنین تئوری بازی توأم با همکاری مبتنی بر روش سازشکارانه^۶ با کمک الگوریتم ترکیبی فراابتکاری ژنتیک و جستجوی ممنوعه جهت بهبود حل مسئله IPPS با لحاظ هم‌زمان چهار هدف فوق به‌کارگیری شده و دامنه جواب آن‌ها با روش سازشکارانه توسعه داده است.

۲- پیشینه‌ی پژوهش

ایده‌ی اولیه IPPS توسط کریسولوریس و همکاران [۴] و کریسولوریس و چان [۵]. معرفی شده و از آن پس، طرح‌های فرایند متنوعی به منظور بهبود انعطاف‌پذیری سیستم‌های ساخت مورد استفاده قرار گرفته است. طرح‌ریزی فرایند و زمان‌بندی فرایند هرکدام، جداگانه یک مسئله پیچیده با سختی بالا هستند، لذا مسئله یکپارچه آن‌ها نیز از همین جنس خواهد بود. اگرچه رایج‌ترین روش حل برای IPPS ادغام دو تابع طرح‌ریزی و زمان‌بندی فرایند به یک تابع است. لیکن این فرض، پیچیدگی توازن بین دو مسئله را نادیده گرفته و قادر به نمایش واقعی ترکیب این دو نیست.

در روش مبتنی بر رویکرد غیرخطی (NLA)^۷، طرح‌های فرایندی متنوع^۸ برای هر کار قبل از ورود کار یا قطعه به کارگاه در فرایندها ایجاد می‌گردد. در این روش فرض بر این است، مواردی که قبل از شروع ساخت قابل حل است، رفع می‌شود. بنابراین NLA روشی است که در آن شرایط کارگاهی ایستا است [۶] و شرایط انعطاف‌پذیری در آن لحاظ نشده است. NLA یکی از روش‌های جریان اطلاعات است که دستیابی به بهترین جواب بهینه برای دو تابع در آن ممکن نیست [۷].

شکل شماره ۱ نشان دهنده رویکرد غیرخطی ارائه شده توسط آقای ژانگ و همکاران می‌باشد.



شکل (۱): NLA [۶]

در روش مبتنی بر رویکرد حلقه بسته (CLA)^۹، طرح‌های فرایند با هدف بازخور پویا از زمان‌بندی تولید و منابع در دسترس ایجاد می‌شوند. زمان‌بندی تولید با رعایت در دسترس بودن ماشین‌های مختلف در کارگاه برای کار/قطعه مربوطه انجام می‌شود لذا هر طرحی با توجه به تسهیلات موجود در دسترس، شدنی می‌باشد. هر زمان که یک فعالیت تمام شود مطالعه جهت تعیین فعالیت بعدی و تخصیص منابع انجام می‌شود. بنابراین وضعیت زمان واقعی^{۱۰} در CLA بسیار حساس است. به همین خاطر این رویکرد

لذا الگوریتم‌های فراابتکاری در حل این مسائل به‌کارگیری می‌شود. طرح‌ریزان فرایند همیشه فرض بر ایده‌آل بودن کارگاه و وجود ظرفیت مطلوب منابع دارند. لذا این امر منجر به علاقه‌مندی تخصیص منابع مشخص، به‌صورت عادت می‌گردد. درحالی‌که منابع همیشه در کارگاه در دسترس نمی‌باشد لذا در عمل منجر به طرح‌های فرایند غیرواقعی که در کارگاه قابل اجرا نمی‌باشد، می‌گردد.

زمان‌بندی، یک طرح ثابت فرایند را به‌منظور رفع تناقض بین تخصیص منابع و محیط متغیر ارائه می‌نماید. به عبارتی طرح‌ریزی فرایند بر اساس محدودیت‌های موجود کارگاه طرح اولیه فرایند را ایجاد می‌نماید درحالی‌که در بازه زمانی بین طرح‌ریزی و زمان‌بندی شرایط و محدودیت‌های کارگاه ممکن است تغییر نماید لذا بعضی از محققان حدود ۳۰ درصد اصلاح و بازنگری را در طرح‌ریزی اولیه فرایند متناسب با تغییرات شرایط کارگاه محاسبه نموده‌اند [۳]. طرح‌های ثابت فرایند منجر به محدود نمودن زمان‌بندی و تخصیص یک ماشین به هر فعالیت می‌گردد. لذا زمان‌بندی قابل اجرا و امکان‌پذیر در کارگاه استفاده از گزینه‌های ماشین مختلف می‌باشد. به‌کارگیری یکپارچه طرح‌ریزی و زمان‌بندی فرایندها این مشکلات را رفع می‌نماید.

اغلب طرح‌ریزی فرایند و زمان‌بندی، بر یک معیار بهینه‌سازی جهت یافتن بهترین جواب متمرکز می‌باشند. درحالی‌که دنیای واقعی با لحاظ بیش از یک معیار برآزش بالاتری دارد. از سوی دیگر این دو اهداف متناقضی را می‌توانند دنبال نمایند طرح‌ریزی فرایند بر نیازمندی‌های تکنولوژیکی یک کار متمرکز است درحالی‌که زمان‌بندی بر جنبه زمانی و منابع مشترک تمامی کارها متمرکز است. از سوی دیگر این اهداف دارای ابعاد و دامنه جواب متفاوتی می‌باشند.

بیشتر تحقیقات گذشته اغتشاشات کارگاه را در IPPS لحاظ نمی‌نمایند معمولاً دو نوع اغتشاش داخلی و بیرونی در کارگاه رخ می‌دهد که امکان‌پذیری زمان‌بندی موجود را غیرممکن نماید.

در این تحقیق جهت انطباق با شرایط واقعی کارگاه محدودیت‌های، انعطاف‌پذیری در فعالیت‌ها^۲ (امکان‌پذیری انجام یک فعالیت روی بیش از یک ماشین)، انعطاف‌پذیری در ترتیب^۳ (امکان‌پذیری جابجایی ترتیب فعالیت‌های مورد نیاز ساخت یک کار) و انعطاف‌پذیری در فرایندها^۴ (امکان‌پذیری تولید یک کار ساختی با فعالیت‌های مختلف یا ترتیب فعالیت‌ها) و تنظیمات پویا^۵ به‌عنوان اغتشاشات شرایط کارگاه شامل اغتشاشات داخلی - خرابی ماشین و اغتشاش خارجی - ورود سفارش جدید به‌کارگیری شده است که در

1. Non-polynomial (NP)hard
2. Operationflexibility
3. Sequencing flexibility
4. Processing flexibility
5. Dynamic feature

6. Compromise
7. Non-linear approach
8. Multiple process plans(MPP)
9. Closed loop approach
10. Real-time

آقای لای و همکاران یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را جهت حل مسائل IPPS ارائه نمودند. که قسمت اول کروموزوم تنوع ترتیب طرح فرایند و قسمت دوم آن طرح زمان‌بندی و قسمت سوم ترتیب ماشین‌ها می‌باشد [۸]. ایشان با فرض عدم وجود محدودیت از جمله اغتشاش بیرونی مسئله را حل نموده‌اند.

آقای راج کومار و همکاران از الگوریتم جستجوی انطباقی تصادفی آزمند^۶ (GRASP) چندهدفه در محیط کارگاهی منعطف استفاده نموده است. این الگوریتم شامل دو فاز ساخت و جستجوی محلی می‌باشد. محققان روی فاز ساخت برای حل مسئله IPPS از طریق محاسبات تجربی متمرکز شده‌اند [۹]. تنظیمات پویا به‌عنوان اغتشاشات شرایط کارگاه در حل مسئله ایشان نادیده گرفته شده است.

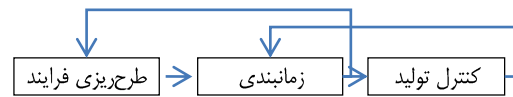
آقایان دانگ و پارسایی یک IPPS مبتنی بر تنظیمات پویا و هوش مصنوعی پیشنهاد نمودند. این مدل یک طرح خام فرایند برای هر محصول فراهم نموده و تمام راه‌های ساخت برای هر وجه فعالیت که می‌تواند روی یک تنظیم ماشین انجام شود را برای ارزیابی ظرفیت کارگاه لحاظ می‌نماید. هم‌زمان با ایجاد طرح خام فرایند، بر اساس محدودیت‌های حرکتی تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی ساخت هر وجه فعالیت، انجام می‌پذیرد. برنامه خام فرایند با گزینه‌های مختلف به‌عنوان ورودی زمان‌بندی به‌کارگیری می‌شود. معیار کمترین زمان کمبود جهت ارزیابی زمان‌بندی یک بچ ساختی کارگاه مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰]. از اشکالات تحقیق ایشان، استفاده از تنها یک معیار به‌عنوان تابع هدف می‌باشد.

آقای وانگ و همکاران یک رویکرد IPPS برای ماشین‌کاری فعالیت‌های کارگاهی از طریق دو فاز، طرح‌ریزی تنظیم انطباقی (ASP)^۷ که الگوریتم ژنتیک در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارائه نمودند. در مرحله اول یک تنظیم عمومی در طرح‌ریزی استفاده می‌شود و در مرحله دوم از ادغام تنظیم انطباقی به‌منظور بهینه نمودن اهداف استفاده می‌شود. تنظیم طرح‌ریزی در سه بعد انجام و سپس تعدادی از تنظیم‌ها به‌منظور ایجاد تنظیم نهایی با در نظر گرفتن در دسترس بودن ماشین‌ها ادغام می‌شوند. یک مثال بهینه کاوی با ۲۶ مشخصه ماشین و ۳ ماشین برای اعتبار دهی مدل به‌کارگیری نموده است [۱۱]. در تحقیق ایشان محدودیت اغتشاشات بیرونی و لحاظ چند معیار به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته نشده است.

تخصیص هم‌زمان^۸ با به‌کارگیری اندازه پنجره زمانی^۹ جهت حل مسائل طرح‌ریزی فرایند و زمان‌بندی توسط چن و خوشنویس [۱۲] و [۲] معرفی گردید. افزایش انعطاف‌پذیری در سیستم و ارزیابی تخصیص هم‌زمان قطعات به ماشین‌ها، مقایسه بین تخصیص‌ها، معرفی اندازه پنجره زمانی جهت تحت کنترل آوری تخصیص در هر

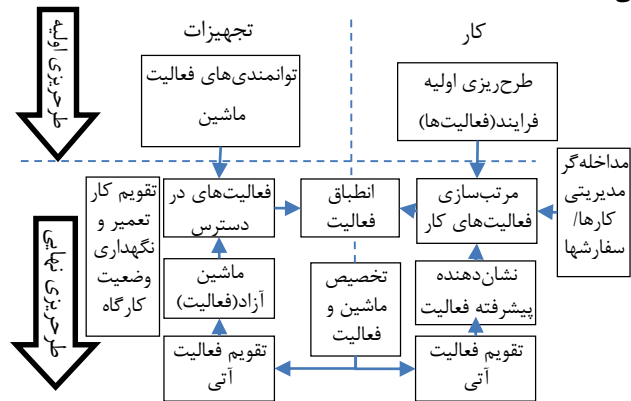
را پویا یا زمان واقعی نیز می‌نامند. در این رویکرد همواره دسترس بودن ماشین‌ها و تسهیلات فرض می‌شود درحالی‌که در دنیای واقعی خرابی ماشین‌ها و از دسترس خارج شدن تسهیلات جزئی از واقعیت می‌باشد.

شکل ۲ نشان دهنده رویکرد حلقه بسته ارائه شده توسط آقای وانگ و همکاران می‌باشد.



شکل (۲): CLA [۶]

در روش مبتنی بر رویکرد توزیع شده (DA)^۱، طرح‌ریزی فرایند و زمان‌بندی تولید به‌طور هم‌زمان بکار گرفته می‌شود و کار در قالب دو فاز پیگیری می‌شود. فاز اول، طرح‌ریزی اولیه است که در آن تابع طرح‌ریزی فرایند اقدام به تجزیه و تحلیل کار بر اساس داده محصول می‌نماید. جنبه‌ها^۲ و ارتباطات جنبه‌ها تشخیص داده می‌شود و فرایندهای ساختی مرتبط تعیین می‌شوند. توانایی‌های مورد نیاز ماشین برآورد می‌شود. فاز دوم طرح‌ریزی نهایی می‌باشد، که اقدام به انطباق فعالیت‌های کار با توانمندی‌های منابع تولیدی در دسترس هر فعالیت می‌نماید. یکپارچه‌سازی زمانی که منابع در دسترس است و کار باید انجام شود، حاصل می‌شود. این روش دارای طرح‌ریزی فرایند پویا است لیکن در زمان‌بندی فرایند، توالی فعالیت‌ها محدود به زمان واقعی رویدادها می‌باشد. از این رو است که این رویکرد را به هنگام^۳ یا رویکرد مرحله‌ای^۴ یا رویکرد توسعه یافته^۵ نیز می‌نامند. شکل شماره ۳ نشان‌دهنده رویکرد DA می‌باشد.



شکل (۳): DA [۶]

با توجه به پیچیده بودن IPPS و سختی بالای آن الگوریتم‌های فراابتکاری مختلف، روش‌های ریاضی پیشرفته، هوش مصنوعی، سیستم‌های خبره و تئوری بازی جهت حل آن مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه به آن‌ها خواهیم پرداخت.

1. Distributed approach
2. Features
3. Just in time
4. Phased
5. Progressive

6. Greedy randomized adaptive search procedures
 7. Adaptive setup planning(ASP)
 8. Concurrent assignment
 9. Window size

ماشین‌ها^{۱۵}، زمان کل جریان کار^{۱۶} می‌باشد که در مقالات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است.

هادی زاده و همکاران، در تحقیق خود از پارامترهای احتمالی جهت انطباق با محیط واقعی تولید در مسائل IPPS استفاده نمودند ابتدا تمامی حالت‌های ممکن ایجاد سپس به کمک الگوریتم دیجکسترا^{۱۷} چهار طرح نزدیک به بهینه انتخاب می‌شوند و ۱۰ طرح توسط روش نمونه‌برداری مونت کارلو^{۱۸} تولید می‌شود. مدل ریاضی با الگوریتم فراابتکاری ترکیبی شامل جستجوی ممنوعه و شبیه‌سازی تبرید حل شده است. جهت اعتبارسنجی نیز چهار مسئله بهینه‌کاوی با مدل پیشنهادی و لینگو^{۱۹} حل و مقایسه شده است [۲۴]. ایشان نیز اغتشاشات بیرون و داخل را در حل مسئله در نظر نگرفته‌اند.

یو و همکاران، یک مدل ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و هوش جمعی ذرات را ارائه نمودند؛ که در آن الگوریتم ژنتیک جهت طرح‌ریزی فرایند و الگوریتم هوش جمعی ذرات جهت تخصیص ماشین‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۲۵]. ایشان از یک تابع هدف جهت حل مسئله استفاده و محدودیت اغتشاشات را در حل مسئله لحاظ نمودند.

ژانگ و همکاران، یک استراتژی نمونه‌برداری ترکیبی مبتنی بر الگوریتم چندهدفه را برای مسائل IPPS مورد استفاده قرار دادند [۲۶]. ایشان نیز محدودیت‌های اغتشاش داخلی و بیرونی را در حل مسئله در نظر نگرفتند.

چو و همکاران، مسئله IPPS را تحت شرایط عدم قطعیت به‌وسیله یک برنامه دوسطحی حل نمودند در سطح اول طرح‌ریزی فرایند به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی و در سطح دوم مسئله برنامه‌ریزی به کمک روش برنامه‌ریزی واکنشی مبتنی بر نماینده^{۲۰} تحت شرایط عدم قطعیت حل شده است [۲۷]. ایشان نیز در روش ارائه شده خود محدودیت‌های اغتشاش داخلی و بیرونی را بدون تأثیر فرض نموده‌اند که در دنیای واقعی این چنین نیست.

ژانگ و وانگ، این دو محقق یک الگوریتم ژنتیک برای کدینگ تابع هدف توسعه داده شده است تا بتوان مواجهه با شرایط واقعی محیط تولید نظیر خرابی ماشین را در حل مسائل IPPS لحاظ نمود. لذا تابع هدف نظیر پردازش ماشین به‌طور مستقیم به‌عنوان وزن اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ و استراتژی انتخاب و جایگزینی خاصی جهت توسعه جمعیت مورد استفاده قرار گرفته است همچنین بهبود تدریجی کیفیت جمعیت بجای جستجوی همسایگی از طریق اعضا مرغوب، مورد استفاده قرار گرفته است [۲۸]. در روش ارائه شده ایشان اغتشاشات نظیر خرابی ماشین لحاظ شده است لیکن از چند تابع هدف به‌طور هم‌زمان جهت حل

مرحله و مقایسه بین هزینه‌های طرح‌ریزی فرایند و هزینه‌های زمان‌بندی در انتخاب گزینه‌های مختلف ماشین‌ها و فرایندها از جمله بهبودهای این روش می‌باشد. لیکن تنظیمات پویا به‌عنوان اغتشاشات شرایط کارگاه در تحقیق ایشان مورد توجه قرار نگرفته است.

روش هوش مصنوعی^۱ توسط کیم و همکاران برای حل مسائل IPPS مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳]. همچنین فنون مرتبط با سیستم خبره توسط ژانگ و همکاران به‌کارگیری شده است [۱۴]. جریمه لاگرانژ بهبود یافته در برنامه‌ریزی ریاضی توسط توسرامز و همکاران [۱۵] و کارپنتیر و همکاران [۱۶] و در حل مسائل IPPS مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین الگوریتم فراابتکاری در جستجوی فضای جواب، توسط محققان مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. شبیه‌سازی تبرید^۲ و جستجوی ممنوعه^۳ توسط برندمارت [۱۷] و شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر جمعیت در مقایسه با دو الگوریتم فراابتکاری دیگر توسط بهنامیان و دیانت [۱۸] استفاده شده است. در تحقیق این محققان اغتشاشات داخلی و بیرونی مورد استفاده قرار نگرفته است.

الگوریتم هوش جمعی ذرات^۴ مبتنی بر نماینده توسط لای و همکاران [۱۹] مورد استفاده و نتایج آن با الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید مورد مقایسه قرار داده شده است. الگوریتم ژنتیک نیز توسط لای و همکاران [۲۰] و [۲۱] و فخرزاد و علی‌نژاد [۲۲] در حل مسائل IPPS استفاده شده است. در تحقیق این محققان اغتشاشات داخلی و بیرونی در حل مسئله مورد استفاده قرار گرفته لیکن چند تابع هدف در حل این نوع مسئله، به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار نگرفته است.

تئوری بازی غیرهمکارانه با نقطه تعادل نش در حل مسائل IPPS تنها در دو مقاله لای و همکاران [۲۳] و [۲۱] استفاده شده است و از تئوری بازی مبتنی بر همکاری استفاده نشده است.

در تعداد کمی مقالات از چند تابع هدف به‌طور هم‌زمان جهت سنجش اثربخشی حل در مسئله IPPS استفاده شده است از جمله این اهداف زمان تکمیل کار^۵، هزینه کل فرایند^۶، تأخیر^۷، لختی کل موزون^۸، عدد وزنی کارهای لخت^۹، زمان کل تعجیل بعلاوه لختی کل^{۱۰}، سطح تعادل به‌کارگیری ماشین^{۱۱}، بیشینه زمان تکمیل ماشین‌ها^{۱۲}، بیشینه بارکاری ماشین^{۱۳}، لختی قطعه^{۱۴}، بارکاری کل

1. Artificial Intelligent method
2. Simulated annealing
3. Tabu search
4. Particle swarm optimization
5. Makespan
6. Total processing cost
7. Lateness
8. Total weighted tardiness
9. Weighted number of tardy jobs
10. Total earliness plus the total tardiness
11. Balanced utilization of machine
12. Maximal completion time of machines
13. Maximal machine workload
14. Part tardiness

15. Total workload of machines

16. Total flow time

17. Dijkstraalgorithm

18. Monte Carlo

19. Lingo

20. Agent-based reactive scheduling method

مسئله استفاده نشده است.

اثربخش مبتنی بر تئوری بازی توأم با همکاری جهت حل مسئله IPPS توسعه داده شده است. همچنین از چهار تابع هدف به طور هم‌زمان جهت بهینه‌سازی مسئله IPPS استفاده شده است. جهت نزدیک شدن به شرایط واقعی مسائل IPPS در کارگاه از خرابی یک ماشین در حین انجام کار و ورود یک کار/ سفارش جدید به‌عنوان تنظیمات پویا استفاده شده است. همچنین با توجه به لحاظ چند هدف متناقض با ابعاد و دامنه جواب متفاوت، نرمالیزه سازی در این مقاله انجام پذیرفته است. در حالی که در مقالات مورد بررسی در این حوزه تاکنون انجام نشده است.

این تحقیق در ادامه به صورت زیر تنظیم شده است:

فرموله نمودن مسئله در بخش ۳ مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش ۴، مدل تئوری بازی چندهدفه IPPS نمایش داده شده است. یک الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله IPPS چندهدفه در بخش ۵ ارائه شده. نتایج آزمایش مدل روی نمونه در بخش ۶ گزارش شده و بخش ۷ نتیجه‌گیری است.

۳- فرموله نمودن مسئله

مسئله IPPS به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد:

مجموعه‌ای از N قطعه که می‌بایست روی ماشین‌ها پردازش شود مشتمل بر منابع ساختی جایگزین، انتخاب منابع ساختی مناسب و ترتیب دهی فعالیت‌ها به منظور تعیین زمان بندی به گونه‌ای که محدودیت‌های پیش‌نیاز بین فعالیت‌ها ارضاء شود و به اهداف مورد نظر دست یابیم [۳۳].

در این تحقیق چهار معیار کمینه نمودن زمان تکمیل کار، کمینه نمودن بیشینه بارکاری، کمینه نمودن لختی کل بارکاری و کمینه نمودن زمان جریان فرایند کل برای بهینه‌سازی هم‌زمان ارزیابی شده است. همچنین برای حل این مسئله، مفروضات زیر در نظر گرفته شده است:

- کارها مستقل هستند. پیش‌دستی در کار مجاز نبوده و هر ماشین می‌تواند تنها یک کار را در هر لحظه انجام دهد.
- فعالیت‌های مختلف روی کار به طور هم‌زمان قابل انجام نمی‌باشد.
- تمام کارها و ماشین‌ها در زمان صفر به طور هم‌زمان در دسترس می‌باشد.
- بعد از انجام کار روی یک ماشین سریعاً به ماشین بعدی منتقل شده و زمان حمل و نقل در نظر گرفته نشده است.
- زمان تنظیم برای فعالیت‌ها روی ماشین‌ها مستقل از ترتیب انجام فعالیت‌ها بوده و در زمان پردازش (عملیات) دیده شده است.

۳-۱- تعاریف متغیرهای مورد استفاده در مدل ریاضی

مسئله چندهدفه IPPS

بر اساس مفروضات ذکر شده، مدل ریاضی تعاریف متغیرها در مسئله چندهدفه IPPS به شکل زیر توصیف شده است:

بنسمین و همکاران، این محققان یک الگوریتم ابتکاری جدید برای حل مسائل IPPS در سیستم‌های ساخت قابل ساختاردهی^۱ مجدد ارائه نمودند. این نوع سیستم‌های ساخت جهت پاسخگویی سریع به بازار در حال تغییر مناسب می‌باشد و الگوریتم پیشنهادی این محققان از طریق آزمایش یک مثال ساده نشان دهنده کاراتر بودن الگوریتم محققان از الگوریتم‌های رایج مورد استفاده نظیر هوش جمعی ذرات، الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید در شرایط بازار در حال تغییر سیستم‌های ساخت قابل ساختاردهی مجدد می‌باشد [۲۹]. این محققین تمرکز بر الگوریتم جدید به‌عنوان نوآوری تحقیق را مدنظر قرار داده‌اند و محدودیت‌ها دنیای واقعی را در حل مسئله در نظر نگرفته‌اند.

موهاپاترا و همکاران، این محققان از مرتب‌سازی غیر مغلوب الگوریتم ژنتیک^۲ کنترل شونده با نخگی^۳ برای حل مسائل IPPS استفاده نموده است و ۵ نمونه بهینه‌کاوی جهت بررسی روایی الگوریتم، مورد استفاده قرار گرفته است و نتیجه نشان دهنده بهبود جواب در اهدافی نظیر هزینه زمان انجام کار و زمان اتلاف می‌باشد [۳۰]. ایشان از دو تابع هدف در تحقیق خود بهره برده‌اند و اغتشاشات را بی‌تأثیر، فرض نموده‌اند که در دنیای واقعی این‌گونه نمی‌باشد.

لو و همکاران، یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر اصول الگوریتم ایمنی^۴ و آرشیو بیرونی برای حل مسئله IPPS چندهدفه استفاده نمود. ایشان از اهداف، زمان تکمیل کار، لختی قطعه، زمان کل جریان کار، بارکاری کل ماشین‌ها و بیشینه بارکاری ماشین استفاده نمودند [۳۱]. لیکن محدودیت‌های اغتشاشات بیرونی و داخلی در تحقیق ایشان در نظر گرفته نشده است.

لای و همکاران، یک الگوریتم ژنتیک را با ترکیب با الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر با لحاظ محدودیت اغتشاشات بیرونی- سفارش جدید و اغتشاش بیرونی (خرابی ماشین) برای حل مسئله IPPS لحاظ نموده است و از تابع هدف زمان تکمیل کار و میانگین زمان جریان کار استفاده نموده است [۳۲]. در تحقیق ایشان از معیار، لختی قطعه، زمان کل جریان کار، بارکاری کل ماشین‌ها و بیشینه بارکاری ماشین استفاده نشده است و تابع هدف رایجی را برای حل مسئله انتخاب نموده‌اند.

همچنین تنظیمات پویا که به‌عنوان اغتشاش داخلی نظیر خرابی یک ماشین در حین انجام کار و اغتشاش بیرونی نظیر ورود یک کار/ سفارش جدید در مسائل IPPS مورد استفاده قرار می‌گیرند، در مقالات لای و همکاران [۱۹] و [۲۱] استفاده شده است.

در این تحقیق یک رویکرد ترکیبی فراابتکاری GA و TS

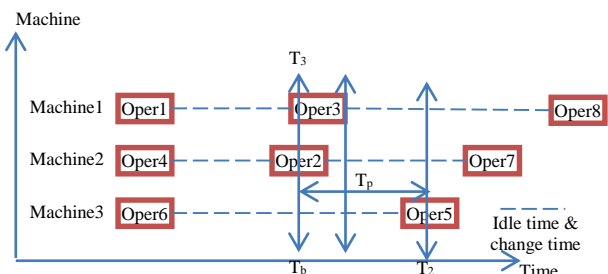
1. Reconfigurable
2. Ron-dominated sorting genetic algorithm
3. Elitist
4. Immune

زمان در دسترس ماشین خراب شده: $Machine[j].Available\ time = T_b + T_p$ و نحوه نمایش آن در شکل شماره ۴ نمایش داده شده است.

- خرابی $Machine[j]$ تأثیری بر فعالیت‌های جاری ماشین‌های دیگر ندارد. اگر یک فعالیت نظیر $operation[i]$ روی $Machine[j]$ ($k \neq j$) زمانی که $Machine[j]$ خراب شود در حال انجام باشد، زمان در دسترس $Machine[k]$ ($k \neq j$) به شرح زیر است:

$$Machine[k]. Available\ time = operation[i]. Machine_end_time$$

- اگر هیچ کاری روی $Machine[k]$ ($k \neq j$) زمانی که $Machine[j]$ خراب می‌شود انجام نشود. زمان در دسترس $Machine[k]$ ($k \neq j$) به شکل زیر قابل محاسبه می‌باشد:
- اگر یک قطعه در حال ماشین‌کاری باشد وقتی که ماشینی خراب می‌شود، قطعه خراب نمی‌شود و تنها فعالیت متوقف شده از یکی از دو روش زیر می‌بایست تکمیل شود: (الف) روی همان ماشین پس از تعمیر ماشین‌کاری ادامه یابد (ب) برنامه‌ریزی مجدد شده و توسط ماشین دیگر ماشین‌کاری شود؛
- تنها فعالیت‌های که انجام نشده و فعالیت در حال انجام روی ماشین خراب نیازمند برنامه‌ریزی مجدد از محل زمان قابل دسترس می‌باشد.



شکل (۴): زمان در دسترس بودن ماشین‌ها زمانی که ماشین ۲ خراب شود.

۳-۳-۲- ورود یک کار یا سفارش جدید:

فرض کنید یک قطعه جدید در زمان T_a وارد می‌شود، مفروضات این اغتشاش خارجی به شرح زیر است.

- اگر در زمان ورود قطعه جدید، فعالیت نظیر $operation[i]$ در حال انجام روی $Machine[j]$ باشد آنگاه زمان در دسترس $Machine[j]$ به شرح زیر قابل محاسبه است.
- $$Machine[j]. Available\ time = operation[i]. Machine_end_time$$
- و نحوه نمایش آن در شکل شماره ۵ نمایش داده شده است.
- اگر در زمان ورود قطعه جدید، قطعه‌ای روی $Machine[j]$ در حال انجام نباشد آنگاه زمان در دسترس $Machine[j]$ به شرح مقابل قابل محاسبه است.

$$Machine[j]. Available\ time = T_a$$

N	تعداد کل کارها
M	تعداد کل ماشین‌ها
G_i	تعداد گزینه‌های طرح‌ریزی‌های فرایند برای کار i ام
O_{ij}	i امین فعالیت در i امین گزینه طرح فرایند از کار i ام
P_{il}	تعداد فعالیت در l امین گزینه طرح‌ریزی فرایند از کار i ام
O_{ij}	گزینه ماشین تخصیص داده شده به k
$t_{ij,k}$	زمان پردازش فعالیت O_{ij} روی ماشین k
$C_{ij,k}$	زودترین زمان تکمیل فعالیت O_{ij} روی ماشین k
C_i	زمان تکمیل کار i ام
D_i	سررسید زمانی کار i ام
W_k	بارکاری ماشین k
A	یک عدد مثبت خیلی بزرگ

$$X_{i,j} = \begin{cases} 1 & i. \\ 0 & ii. \end{cases}$$

i. امین طرح فرایند منعطف از کار i ام انتخاب شود
ii. سایر موارد

$$Y_{ij,pqsk} = \begin{cases} 1 & i. \\ 0 & ii. \end{cases}$$

i. فعالیت O_{ij} پیش‌نیاز فعالیت O_{pqs} روی ماشین
ii. سایر موارد

$$Z_{ij,k} = \begin{cases} 1 & i. \\ 0 & ii. \end{cases}$$

i. اگر ماشین k برای فعالیت O_{ij} انتخاب شود
ii. سایر موارد

۳-۲- توابع هدف به شرح زیر فرموله شده است.

- کمیته نمودن زمان تکمیل کار^۲
 $Min F_1 = Makespan = Max C_{ij,k}$ (۱)
 $i \in [1, N], j \in [1, p_{il}], l \in [1, G_i], k \in [1, M]$
- کمیته نمودن بیشینه بارکاری^۳
 $Min F_2 = (MMW) = Max W_k$ (۲)
 $k \in [1, M],$
- کمیته نمودن لختی کل بارکاری^۴
 $Min F_3 = (TWM) = \sum_{i=1}^M \max(0, C_i - D_i)$ (۳)
 $i \in [1, N],$
- کمیته نمودن زمان جریان فرایند کل^۵
 $Min F_4 = (TFT) = \sum_{i=1}^M \max(C_i - R_i)$ (۴)

۳-۳- تنظیمات پویا به شرح زیر قابل ارائه می‌باشد.

۳-۳-۱- خرابی ماشین

فرض کنید $Machine[j]$ برای یک بازه زمانی T_b خراب شود و زمان مورد نیاز تعمیر T_p باشد. مفروضات این اغتشاش داخلی به شرح زیر است.

1. Due time
2. Minimizing make span (MS)
3. Minimizing the Maximal machine workload (MMW)
4. Minimizing the total tardiness of workload (TTW)
5. Minimizing Total Flow Time (TFT)

X در MOP به فضای تصمیم s در تئوری بازی تبدیل می‌شود. $f_i(x)$ در MOP تحت عنوان تابع مطلوبیت^۲، u_i در تئوری بازی تبدیل می‌شود.

e(x) در MOP نیز به عنوان محدودیت‌های تئوری بازی در نظر گرفته می‌شود. به عبارتی $\varphi_i: X \rightarrow S_i$ به عنوان استراتژی‌های تصمیم برای i امین بازیکن و $U_{i=1}^k S_i = X$ ؛ $\varphi_i: f_i \rightarrow u_i$ ؛ $U_{i=1}^k S_i = X$ به عنوان استراتژی‌های تصمیم i امین بازیکن و مدل تئوری بازی چندهدفه به شرح فرمول ۱۳ قابل تعریف می‌باشد:

$$G = \{S; U\} = \{S_1, S_2, \dots, S_k; u_1, u_2, \dots, u_k\} \quad (13)$$

همچنین مدل تئوری بازی به شرح فرموله شماره ۱۴ شده است:

$$\begin{aligned} \text{Max/Min } y = f(x) &= \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}, \\ \text{s.t.:} & \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} e(x) &= \{e_1(x), e_2(x), \dots, e_m(x)\} \leq 0, \\ x &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X \quad y = (y_1, y_2, \dots, y_k) \in Y \end{aligned}$$

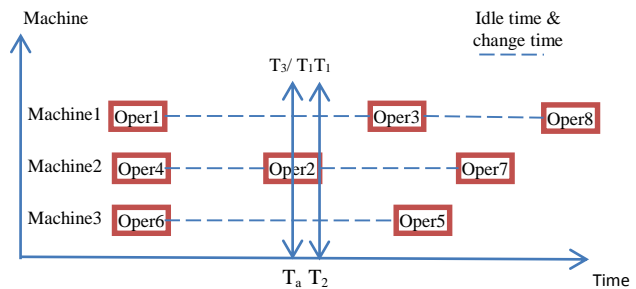
در این تحقیق از تئوری بازی توأم با همکاری مبتنی بر راه حل سازشکارانه^۳ استفاده شده است پرفسور یو^۴ نیز راه حل سازشکارانه ارائه نموده است لیکن با توجه به وجود چند هدف متناقض با ابعاد و دامنه جواب متفاوت نرمالیزه سازی در آن رعایت نشده است لذا از فرمول توسعه داده شده‌ای که در آن نرمالیزه سازی انجام پذیرفته است آنچه در فرمول شماره ۱۵ نشان داده شده است، بهره‌گیری شده است.

$$\begin{aligned} \min: E_j &= \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^h \left| \frac{u_{il}^* - u_{il}}{u_{il}^* - \tilde{u}_{il}} \right|^p \right\}^{\frac{1}{p}}; i \leq p \leq \infty \\ &= \max_{i,l} \left| \frac{u_{il}^* - u_{il}}{u_{il}^* - \tilde{u}_{il}} \right| \leftarrow p = \infty \\ \text{s.t.: } u_{il} &\in U; \begin{cases} i = 1, 2, \dots, n \\ l = 1, 2, \dots, h \end{cases} \end{aligned} \quad (15)$$

n تعداد بازیکن
h تعداد معیار
E معیار نقطه تعادل مبتنی بر تئوری بازی توأم با همکاری به ازای امین عضو می‌باشد.
U* یک نقطه آرمانی و یک راه حل مؤثر قاطع است که مورد توافق و رضایت کلیه بازی‌کنندگان واقع می‌شود:
(بدان معنی که بهینه مطلوب، به ازای آن نقطه، به طور هم‌زمان برای کلیه بازی‌کنندگان تأمین خواهد بود).

بردار مطلوبیت بیشینه برای هر یک از بازی‌کنندگان، به طوری که همگی خشنود باشند. $U^* = \{u_1^*, \dots, u_n^*\}$
بردار مطلوبیت کمینه برای هر یک از بازی‌کنندگان، به طوری که همگی کسب حداقل مطلوبیت نمایندند. $\tilde{U} = \{\tilde{u}_1, \dots, \tilde{u}_n\}$

• تنها فعالیت‌های انجام نشده و فعالیت جدید که نیازمند ماشین‌کاری است در بازه زمانی محاسبه شده در مراحل قبل بایستی دوباره برنامه‌ریزی شوند.



شکل (۵): زمان در دسترس بودن ماشین‌ها زمانی که سفارش جدید در زمان T_a وارد می‌شود.

۳-۴- محدودیت‌ها

به شرح زیر قابل ارائه می‌باشد.

• برای اولین فعالیت در I امین گزینه طرح فرایند از کار i ام:

$$c_{i1lk} + A(1 - X_{il}) \geq t_{i1lk} \quad i \in [1, N], l \in [1, G_i], k \in [1, M] \quad (5)$$

• برای آخرین فعالیت در I امین گزینه طرح فرایند از کار i ام:

$$c_{ipilk} + A(1 - X_{il}) \leq \text{Makespan} \quad i \in [1, N], l \in [1, G_i], k \in [1, M]. \quad (6)$$

• فعالیت‌های مختلف یک کار نمی‌تواند به طور هم‌زمان پردازش شود:

$$c_{ijlk} - c_{i(j-1)lk_1} + A(1 - X_{il}) \geq t_{ijlk} \quad i \in [1, N], j \in [1, p_{il}], l \in [1, G_i], k, k_1 \in [1, M]. \quad (7)$$

• هر ماشین تنها یک کار / قطعه را در یک زمان می‌تواند انجام دهد:

$$c_{pqsk} - c_{ijlk} + A(1 - X_{il}) + A(1 - X_{ps}) + A(1 - Y_{ijlpqsk}) \geq t_{pqsk} \quad (8)$$

$$c_{ijlk} - c_{pqsk} + A(1 - X_{il}) + A(1 - X_{ps}) + AY_{ijlpqsk} \geq t_{pqsk} \quad (9)$$

$$p \in [1, N], j, q \in [1, p_{il, ps}], l, s \in [1, G_i, p], k \in [1, M] \quad (10)$$

• تنها یک گزینه از طرح فرایند توسط کار I ام می‌تواند انتخاب شود:

$$\sum_l X_{il} = 1 \quad l \in [1, G_i] \quad (11)$$

• تنها یک ماشین برای هر فعالیت بایستی انتخاب شود:

$$\sum_{k=1}^M Z_{ijkl} = 1 \quad i \in [1, N], j \in [1, p_{il}], l \in [1, G_i] \quad (12)$$

۴- مدل تئوری بازی چندهدفه IPPS

به کارگیری مسئله چندهدفه^۱ (MOP) در تئوری بازی به شرح زیر قابل انجام می‌باشد:

K هدف در MOP به عنوان k بازیکن در مدل تئوری بازی در نظر گرفته می‌شوند.

2. Utility function
3. Compromise-Solution
4. Yu

جدول (۱): پارامترهای الگوریتم پیشنهادی

پارامترها	مقدار
اندازه جمعیت، popsize	۴۰۰
تعداد کل نسل‌ها، maxGen	۲۰۰
تعداد حداکثر مجاز مراحل بدون هیچ بهبود، maxStagnantStep	۲۰
تعداد حداکثر تکرار در جستجوی ممنوعه	۲۰۰
احتمال اپراتور تولید مجدد، Pr	۰/۰۵
احتمال اپراتور تقاطع، Pc	۰/۶
احتمال اپراتور جهش، Pm	۰/۱
طول لیست ممنوعه، maxT	۱۰
فاکتور راه حل نقطه تعادل نش، ϵ	۰/۱
عدد تنظیم کننده فرصت از دست رفته فردی و مطلوبیت گروهی، P	۲
تعداد معیارهای بازی، h	۱
تعداد بازیکنان، n	۴
زمان خرابی ماشین، T_b (یک ماشین به تصادف)	زمان خرابی تصادفی
زمان مورد نیاز تعمیر ماشین، T_p	تصادفی (۰،۳۰)
زمان ورود سفارش جدید، T_a	(۱۰۰،۳۰)
(یک سفارش تک فعالیت با زمان ۲۵ برای تمام ماشین‌ها)	

الف: تنظیم پارامترها

ب: تولید جمعیت اولیه، Gen=۱

ج: بررسی معیارهای اختتام الگوریتم در صورت ارضاء

• مقایسه تمام راه حل‌های ثبت شده

• انتخاب و اعلام بهترین راه حل

د: در صورت عدم اختتام الگوریتم:

انتخاب: تولید جمعیت جدید با کمک الگوریتم ژنتیک

iii. تولید مجدد جمعیت

iv. اپراتور تقاطع

v. اپراتور جهش

ه: جستجوی محلی بوسیله الگوریتم جستجوی ممنوعه برای هر عضو

و: تنظیم Gen=Gen+1 و انتقال به بند ج

شکل (۷): شبه کد الگوریتم ترکیبی فراابتکاری

۶- یافته‌های پژوهش در حل مسئله مبنا- اعتبارسنجی

در این تحقیق الگوریتم پیشنهادی به زبان Matlab کد نویسی شده و مورد آزمون قرار گرفته است. برای نمایش اثربخشی و عملکرد الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق، مسئله مطرح شده در مقاله اوزباکیر و بیکاسوگلو [۳۳] به‌عنوان مبنا^۲ انتخاب شده است. پارامترهای الگوریتم برای مسئله در جدول ۱ ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی زمانی که به ماکزیمم تعداد نسل‌های تعیین شده برسد متوقف می‌شود و جستجوی ممنوعه وقتی که تعداد تکرار به حداکثر تعیین شده برسد متوقف می‌شود. مسئله مبنا با ۵ شغل و ۵ ماشین ساخته می‌شود. داده‌ها در جدول ۲ نمایش داده شده و

U_i می‌تواند به صورت تابع پیوسته از مطلوبیت $u_i(x)$ یا یک ارزش گسسته از ماتریس مطلوبیت باشد. $|u_i^* - u_i|$ نشان‌دهنده فرصت از دست رفته برای بازی‌کننده i ام است بنابراین مجموع فرصت‌های از دست رفته (به ازای $p=1$) از طریق فرمول شماره ۱۵ کمینه می‌گردد و ماکزیمم فرصت از دست رفته، از بین کلیه فرصت‌های از دست رفته (به ازای $p=\infty$) نیز کمینه خواهد شد. از این‌رو، P دارای نقش متوازن کننده، فی‌مابین مطلوبیت گروه بازی‌کنندگان و ماکزیمم فرصت‌های از دست رفته فردی است. لذا ارزش کوچک P تأکید بر مطلوبیت گروه دارد و P با ارزش بزرگ تأکید بر فرصت‌های از دست رفته فردی است.

۵- روش الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله IPSS

چندهدفه

۵-۱- شبه کد الگوریتم پیشنهادی

به‌منظور حل اثربخش مدل تئوری بازی مسئله IPSS چندهدفه، رویکردی ترکیبی (GA,TS) پیشنهاد شده است شبه کد الگوریتم پیشنهادی در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. همچنین تنظیمات الگوریتم ترکیبی مورد استفاده در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. شبه کد الگوریتم ترکیبی فراابتکاری در شکل ۷ نمایش داده شده است.

الف: تنظیم پارامترها

ب: تولید جمعیت اولیه

ج: ارزیابی هر عضو و محاسبه اهداف

د: الگوریتم حل نقطه تعادل تئوری بازی توأم با همکاری و ثبت راه

حل‌ها برای جمعیت حاضر

ه: بررسی معیارهای اختتام الگوریتم در صورت ارضاء

• مقایسه تمام راه حل‌های ثبت شده

• انتخاب و اعلام بهترین راه حل

و: در صورت عدم اختتام الگوریتم: تولید جمعیت جدید با کمک

الگوریتم ترکیبی

i. بکارگیری اپراتورهای ژنتیک

ii. جستجوی محلی بوسیله جستجوی ممنوعه برای هر عضو

شکل (۶): شبه کد الگوریتم پیشنهادی

۵-۲- شبه کد تئوری بازی توأم با همکاری مبتنی بر راه حل

سازشکارانه^۱ برای مسئله IPSS چندهدفه:

این شبه کد در شکل شماره ۸ نمایش داده شده است. معیار مورد استفاده جهت قضاوت و کیفیت راه‌حل‌های تولیدی نقطه تعادل Ez می‌باشد که در فرمول شماره ۱۵ نحوه محاسبه آن مشخص شده است. برای حل بازی N نفره از فواصل مطلوبیت $u_i^i = u_i^i$ موجود برای هر بازی‌کننده نسبت به یک نقطه آرمانی^۲ استفاده می‌شود.

1. Compromise-Solution

2. Utopia

جدول ۳ نشان‌دهنده نتایج و مقایسه با الگوریتم‌های دیگر است. جدول ۴ نشان‌دهنده ترتیب فعالیت‌های انتخاب شده برای کار می‌باشد.

جدول (۲): داده‌های مسئله مینا [۳۱]

گزینه‌های ماشین‌ها با زمان پردازش	گزینه‌های ترتیب فعالیت‌ها	مقیاس				
		M_5	M_4	M_3	M_2	M_1
۱	$O_1 - O_4 - O_1 - O_2$	۷۷	۶۲	۸۸	۴۰	۵۷
	$O_4 - O_2 - O_1 - O_2$	۵	۱۰	۱۱	۱۰	۷
	$O_2 - O_4 - O_1 - O_2$	۹۳	۱۷	۷۶	۷۴	۹۵
	$O_2 - O_1 - O_4 - O_2$	۲۶	۲۸	۲۲	۱۸	۲۴
۲	$O_1 - O_2 - O_2$	۸۴	۹۸	۶۸	۷۶	۸۴
	$O_1 - O_2 - O_2$	۱۹	۲۰	۱۵	۱۰	۲۰
	$O_4 - O_2 - O_1$	۹۰	۸۷	۹۸	۸۸	۱۹
	$O_2 - O_1 - O_2$					
۳	$O_2 - O_4 - O_1 - O_2$	۷۴	۸۰	۵۸	۸۷	۶۵
	$O_1 - O_4 - O_2 - O_2$	۱۸	۵۲	۳۸	۱۲	۴۶
	$O_1 - O_4 - O_5$	۲۲	۱۴	۱۹	۲۲	۱۹
	$O_4 - O_2 - O_1 - O_2$	۶۰	۷۲	۶۴	۵۶	۷۳
۴	O_5	۹۸	۹۵	۹۶	۹۸	۹۶
	$O_1 - O_2 - O_2 - O_2$	۱۱	۱۲	۱۳	۷	۱۳
	$O_2 - O_1 - O_4 - O_2$	۴۰	۴۷	۹۷	۶۴	۵۲
	$O_4 - O_2 - O_1 - O_2$	۱۴	۱۱	۱۷	۳۰	۲۰
۵	$O_2 - O_2 - O_1$	۹۵	۷۹	۸۰	۶۶	۹۴
	$O_2 - O_1 - O_2$	۸۵	۷۸	۵۵	۹۷	۹۴
	$O_2 - O_4$	۱۷	۴۲	۱۹	۲۳	۱۳
	$O_2 - O_2 - O_1$	۸۰	۶۴	۷۶	۶۵	۸۸
	$O_1 - O_2 - O_2$	۷۵	۹۲	۹۰	۷۴	۸۸

الف: استفاده از الگوریتم ترکیبی برای یافتن بهترین جواب متناسب با هر تابع هدف
 ب: محاسبه نقطه تعادل به کمک تئوری بازی توأم با همکاری مبتنی بر راه حل سازشکارانه برای هر عضو در جمعیت حاضر به ازاء P
 ج: یافتن بهترین نقطه تعادل و $z=1$
 د: مقایسه هر نقطه تعادل E_j با بهترین نقطه تعادل ثبت شده تاکنون
 ه: بررسی معیار $Popsiz$ $z \leq$ در صورت ارضاء
 • بررسی معیار $E_j - E_{best} \leq \epsilon E_j$ در صورت ارضاء ثبت راه حل، $z+1$ و انتقال به مرحله د
 • در صورت عدم ارضاء معیار، $z+1$ و انتقال به مرحله د
 و: در صورت عدم ارضاء معیار: اعلام بهترین راه حل

شکل (۸): شبیه کد الگوریتم تئوری بازی توأم با همکاری مبتنی بر راه حل سازشکارانه

جدول (۳): نتایج و مقایسه با روش‌های حل دیگر

معیار/هدف	رویکرد Grammatical	راه حل راجکومار و آسوکان [۹]	راه حل لای و همکاران ^۲	راه حل این تحقیق (سازشکارانه)
کمینه نمودن زمان تکمیل کار	۳۹۴	۲۴۲	۱۶۵	۱۸۷
کمینه نمودن بیشینه بارکاری	۳۲۸	۲۱۷	۱۵۹	۱۷۳
کمینه نمودن لختی کل بارکاری	۶۰۲	۳۶۵	-	۵۲۹
کمینه نمودن زمان جریان فرایند کل	۱۱۳۲	۸۹۵	-	۷۶۳

جدول (۴): ترتیب انجام پروسه‌ها برای هر کار در مسئله مینا

کار	راه حل این تحقیق (سازشکارانه)
۱	$O_2 - O_4 - O_1 - O_2$
۲	$O_2 - O_1 - O_2$
۳	$O_2 - O_4 - O_1 - O_2$
۴	$O_4 - O_2 - O_1 - O_2$
۵	$O_2 - O_4$

نتایج اجرای مدل برای مسئله مینا (جدول ۳) نشان دهنده غلبه الگوریتم پیشنهادی بر نتایج رویکرد دستوری می‌باشد. با عنایت به لحاظ یک خرابی تصادفی و یک سفارش جدید که در مدل مورد مقایسه لحاظ نشده است. نتایج حاصله در مقایسه با سایر روش‌ها

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مسئله طرح‌ریزی و زمان‌بندی فرایند جهت انطباق با شرایط واقعی کارگاه با لحاظ محدودیت‌هایی نظیر انعطاف‌پذیری در فعالیت‌ها (امکان‌پذیری انجام یک فعالیت روی بیش از یک ماشین)، انعطاف‌پذیری در ترتیب (امکان‌پذیری جابجایی ترتیب فعالیت‌های مورد نیاز ساخت یک کار) و انعطاف‌پذیری در فرایندها (امکان‌پذیری تولید یک کار ساختی با فعالیت‌های مختلف یا ترتیب فعالیت‌ها) و تنظیمات پویا به‌عنوان اغتشاشات شرایط کارگاه شامل اغتشاشات داخلی- خرابی ماشین و اغتشاش خارجی-ورود سفارش جدید با به‌کارگیری یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ژنتیک و جستجوی ممنوعه و با کمک تئوری بازی توأم با همکاری مبتنی بر روش سازشکارانه به‌طور هم‌زمان حل گردید. همچنین با توجه به تفاوت در ابعاد اهداف و دامنه جواب آن‌ها روش سازشکارانه توسعه داده شده است.

1. Due date

- [14] Zhang, H., Mallur, S., (1994). "An integrated model of process planning and production scheduling", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 7(6): 356-364.
- [15] Tosserams, S., Etman, L.F.P., Rooda, J.E., (2008). "Augmented Lagrangian coordination for distributed optimal design in MDO", *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, 73: 1885-1910.
- [16] Carpentier, P., Cohen, G., Culioli, J.C., Renaud, A., (1996). "Stochastic optimization of unit commitment: A new decomposition framework", *IEEE Transactions on Power Systems*, 11: 1067-1073.
- [17] Brandimarte, P., (1992). "Neighborhood search-based optimization algorithms for production scheduling: A survey", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 5(2): 167-176.
- [۱۸] بهنامیان، جواد، دیانت، فریبرز، (۱۳۹۵). «مقایسه سه روش فرایبتکاری برای کمینه‌نمودن زمان چرخه در مسئله زمانبندی جریان کارگاهی مختلط دوره‌ای با در نظر گرفتن اثر یادگیری»، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۴(۸): ۱۰۵-۱۱۷.
- [19] Weidong, L., Lihui, W., Xinyu, L., Liang, G., (2011). "Intelligent Optimisation for Integrated Process Planning and Scheduling, L.W. Deb, Multi-objective Evolutionary Optimisation for Product Design and Manufacturing", London: Springer-Verlag London Limited, 305-329.
- [20] Xinyu, Li., Liang, G., Xinyu, S., Chaoyong, Z., Cuiyu, W., (2010). "Mathematical modeling and evolutionary algorithm-based approach for integrated process planning and scheduling", *Computers & Operations Research*, 37: 656-667
- [21] Li, W.D., Gao, L., Li, X.Y., Guo, Y., (2008). "Game Theory-based Cooperation of Process Planning and Scheduling", *IEEE*, 841.
- [۲۲] فخرزاد، محمدباقر، علی‌نژاد، اسماعیل، (۱۳۹۲). «برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پیشرفته با در نظر گرفتن اثر یادگیری در سیستم‌های ساخت کارگاهی انعطاف‌پذیر»، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱(۱): ۱۳-۲۴.
- [23] Li, X., Gao, L., Li, W., (2012). "Application of game theory based hybrid algorithm for multi-objective integrated process planning and scheduling", *Expert Systems with Applications*, 39: 288-297.
- [24] Haddadzade, M., Razfar, M.R., Fazel Zarandi, M.H., (2014). "Integration of process planning and job shop scheduling with stochastic processing time", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 71: 241-252.
- [25] Mingrang, Y., Yingjie, Z., Kun, C., Ding, Z., (2015). "Integration of process planning and scheduling using a hybrid GA/PSO algorithm", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 78: 583-592.
- [26] Wenqiang, Z., Mitsuo, G., Jungbok, J., (2014). "Hybrid sampling strategy-based multiobjective نشان‌دهنده بهتر بودن و اثربخش بودن الگوریتم پیشنهادی نسبت به دیگر رویکردها برای مسئله IPPS چندهدفه می‌باشد. همچنین توصیه می‌شود با تغییر عدد p در بازه $(0, \infty)$ به مجموعه راه‌حل‌های پاراتویی برای مسئله دست یافت.
- مراجع**
- [1] Kumar, M., Rajotia, S., (2003). "Integration of scheduling with computer aided process planning" *Journal of Materials Processing Technolo*, 138: 297-300.
- [2] Khoshnevis, B., and Chen, Q., (1990). "Integration of process planning and scheduling functions", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1: 165-176.
- [3] Detand, J., Kruth, J.P., Kempnaers, J., (1992). "A computer aided process planning system that increases the exibility of manufacturing", IPDES (Espirit project 2590) Workshop.
- [4] Chryssolouris, G., Chan, S., Cobb, W., (1984). "Decision making on the factory floor: an integrated approach to process planning and scheduling", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 1(3-4): 9-315.
- [5] Chryssolouris, G., Chan, S., (1985). "An integrated approach to process planning and scheduling", *Annals of the CIRP3*, 4(1): 7-413.
- [6] Zhang, H.C., Merchant, M.E., (1993). "IPPM – A prototype to integrate process planning and job shop scheduling function", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 42(1): 513-518.
- [7] Kempnaers, J., Pinte, J., Detand, J., (1996). "A collaborative process planning and scheduling system", *Advances in Engineering Software*, 25: 3-8.
- [8] Li, X., Gao, L., Zhang, C., Shao, X., (2010). "A review on integrated process planning and scheduling", *International Journal Manufacturing Research*, 5(2): 161-180.
- [9] Rajkumar, M., Asokan, P., (2010). "A GRASP algorithm for the Integration of Process Planning and Scheduling in a flexible job-shop", *Int. J. Manufacturing Research*, 5(2): 230-251.
- [10] Dong, J., Jo, H.H., Parsaei, H.R., (1992). "A feature-based dynamic process planning and scheduling", *Computers Industrial Engineering*, 23: 141-144.
- [11] Wang, L., Cai, N., Feng, H. Y., Ma, J., (2010). "ASP: an adaptive setup planning approach for dynamic machine assignments", *IEEE, Transactions on Automation Science and Engineering*, 7(1): 2-14.
- [12] Chen, Q., Khoshnevis, B., (1993). "Scheduling with flexible process plans", *Production Planning & Control*, 4(4): 333-343.
- [13] Kim, Y., Park, K., Ko, J., (2003). "A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling", *Computers and Operations Research*, 30: 1151-1171.

- International Journal of Production Research, 53: 6: 1712-1735.
- [31] Guofu, L., Xiaoyu, W., Hao, L., Wuyi, M., Guizhong, X., (2017). "An effective multi-objective genetic algorithm based on immune principle and external archive for multi-objective integrated process planning and scheduling", Int. J. Adv. Manuf. Technol., 91: 3145-3158.
- [32] Hao, X., Xinyu, L., Liang, G., (2016). "A hybrid genetic algorithm with variable neighborhood search for dynamic integrated process planning and scheduling" Computers & Industrial Engineering, 102: 99-112.
- [33] Guo, Y.W., Li, W.D., Mileham, A.R., Owen, G.W., (2009). "Applications of particle swarm and optimization in integrated process planning and scheduling", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 280: 8-25.
- [34] Baykasoglu, A., Ozbakir, L., (2009). "A grammatical optimization approach for integrated process planning and scheduling", Journal of Intelligent Manufacturin, 20: 211-221.
- evolutionary algorithm for process planning and scheduling problem", J. Intell. Manuf., 25: 881-897.
- [27] Yunfei, Ch., Fengqi, Y., John, M., Wassick, A.A., (2015). "Integrated planning and scheduling under production uncertainties: Bi-level model formulation and hybrid solution method", Computers and Chemical Engineering, 72: 255-272
- [28] Luping, Z., Wong, T.N., (2015). "An object-coding genetic algorithm for integrated process planning and scheduling", European Journal of Operational Research 244: 434-444.
- [29] Bensmaine, A., Dahane, M., Benyoucef, L., (2014). "A new heuristic for integrated process planning and scheduling in reconfigurable manufacturing systems", International Journal of Production Research, 52(12), 3583-3594
- [30] Mohapatra, P., Nayak, A., Kumar, S.K., Tiwari, M.K., (2015). "Multi-objective process planning and scheduling using controlled elitist non-dominated sorting genetic algorithm"



Developing Integrated Process Planning and Scheduling with Dynamic Features for Multi-objective Based on Cooperative Game Theory

M. Kordbacheh¹, R. Sadeghian^{1,*}

¹ Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 September 2016
Accepted 24 February 2018

Keywords:

Integrated process planning and scheduling
Cooperative game theory
Multi objective
Dynamic features

ABSTRACT

Process planning and scheduling are two key sub-functions in the manufacturing system. Traditionally, these two, were carried out in separate and sequential way with a single criterion optimization and regard to some hypothesizes. In real- world these hypothesizes such as resources and machines permanent availability and process planning inflexibility make the solution will become infeasible. In this paper to improve efficiency and adapt more to the real- world production, with four criteria, alternative operation sequences and dynamic feature such as machine breakdown and new order arrival used to optimize integrated process planning and scheduling (IPPS) problem. In solving problem process, cooperative game theory based on compromise method has been developed and a meta heuristic hybrid algorithm (GA,TS) are used. The approach has been tested and the result show that the developed approach is a proper method to solve a multi objective IPPS with supposed constraints.

* Corresponding author. Ramin Sadeghian
Tel.: 021-84234384; E-mail address: sadeghian@pnu.ac.ir