

مدیریت تولید و عملیات، دوره ششم، شماره (۲)، پیاپی (۱۱)، پاییز و زمستان ۱۳۹۴

دریافت: ۹۲/۱/۲۳ پذیرش: ۹۳/۴/۹

صص: ۹۵ - ۱۱۲

ارائه زمان‌بندی واکنشی برای مسأله کارگاه باز با تمرکز بر موعد تحویل کارها

نعمت اله تقی‌نژاد^۱، سیدهادی ناصری^{۲*}، فرزانه خلیلی گودرزی^۳، فاطمه طالبیان جلودار^۳

۱- دانشجوی دکتری ریاضی کاربردی، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲- استادیار دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۳- کارشناس ارشد ریاضی کاربردی دانشگاه مازندران

چکیده

زمان‌بندی تخصیص منابع در افق برنامه‌ریزی برای اجرای مجموعه‌ای از وظایفی است که استفاده از منابع در دسترس را بهینه می‌کند. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه زمان‌بندی کارگاه باز (*Open Shop*)، حالت ایستا و قطعی دارند، یعنی همه داده‌ها مشخص هستند و در افق زمانی تغییر نمی‌کنند، در حالی که مسائل زمان‌بندی واقعی به بندرت ایستا و قطعی هستند. برنامه‌ریزی واکنشی، زمینه پژوهش‌هایی است که بروز تغییرات و فرضیه‌ها غیرقطعی در مسائل زمان‌بندی جهان واقعی را بررسی می‌کند. از طرف دیگر، مسأله کارگاه باز در دسته $NP - hard$ قرار دارد، بنابراین، در صورت بروز رویدادهای غیرمنتظره، حل مجدد مدل اولیه از نظر هزینه محاسباتی و زمان اجرا مقرون به صرفه نیست. بنابراین، در این پژوهش‌ها ابتدا مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته برای تولید زمان‌بندی اولیه مسأله کارگاه باز را ارائه می‌شود، در ادامه، به منظور اصلاح زمان‌بندی اولیه، مدل ارائه شده به برنامه‌ریزی واکنشی متناسب با تغییر موعد تحویل تعمیم داده می‌شود. در پایان، بنا به ضرورت مسأله، الگوریتمی کارا به منظور اصلاح زمان‌بندی اولیه ارائه می‌شود که در کنار مدل واکنشی، در صورت بروز هر رویدادی قابلیت کنترل بالایی را برای ناظر و مدیر کارگاه فراهم کند. این الگوریتم و تمامی مدل‌ها در محیط نرم افزاری *Aimms* پیاده‌سازی و اجرا شده و نتیجه‌های به دست آمده؛ کارایی به کارگیری رویکرد زمان‌بندی واکنشی، در شرایط بروز اختلال در موعد تحویل کارها را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی واکنشی، کارگاه باز، زمان‌بندی، تاریخ تحویل، عدم قطعیت.

۱- مقدمه

زمان‌بندی تخصیص منابع در افق برنامه‌ریزی برای اجرای مجموعه‌ای از وظایفی است که استفاده از منابع در دسترس را بهینه می‌کند. در واقع، یک برنامه زمان‌بندی کارا می‌تواند به بهره‌برداری موثر از ظرفیت‌های تولید و افزایش سوددهی واحدهای تولیدی منجر گردد. زمان همیشه یکی از با ارزش‌ترین منابع موجود است، لذا زمان‌بندی منابع علاوه بر این که به افزایش کارایی و بهره‌برداری مناسب از ظرفیت تولید و نهایتاً افزایش سوددهی یک سازمان منجر می‌شود، سبب کاهش زمان مورد نیاز برای تکمیل کارها و صرفه‌جویی در زمان به عنوان با ارزش‌ترین منبع نیز خواهد شد.

زمان‌بندی کارگاه باز، مجموعه‌ای از عملیات است که در پردازش آنها لزومی به رعایت ترتیب خاصی وجود ندارد. بنابراین، فضای جواب در مسائل زمان‌بندی کارگاه باز به شکل قابل ملاحظه‌ای نسبت به فضای جواب مسائل دیگر بزرگتر است. از طرفی، با بررسی پیشینه مسأله به نظر می‌رسد، پژوهشگران توجه کمتری نسبت به مسائل کارگاه باز داشته‌اند. مسائل زمان‌بندی در محیط کارگاه باز شامل m ماشین و n کار هستند که هر کار حداکثر می‌تواند شامل m عملیات باشد. هر عملیات بایستی بر روی یک ماشین با زمان پردازش معین انجام شود.

بیشتر پژوهش‌های انجام شده در مسائل زمان‌بندی بدون آن که توجه کافی به اتفاقات پیش‌بینی نشده داشته باشند؛ به طور عمده بر تولید یک زمان‌بندی خوب تمرکز دارند. در واقع، انتقاد اصلی میچ اکتورک و جورجولو (۱۹۹۹) و کامانگ و جانسون (۲۰۰۲) که بر مدل‌های زمان‌بندی ایستا و قطعی وارد است؛ به

علت بی‌توجهی به این نکته است که رخدادهای واقعی که در کارگاه اتفاق می‌افتند، از نظر تعداد بیشتر و بسیار متفاوت‌تر در مقایسه با عملیات و رخدادهای پیش‌بینی شده از قبیل زمان جداسازی کارها از ماشین، زمان آماده‌سازی کارها بر روی ماشین و غیره هستند. در واقع ممکن است عوامل گوناگونی رخ دهند که زمان‌بندی اولیه را مختل کند، بنابراین، یک عمل اصلاحی مناسب (یا واکنشی) باید رخ دهد تا وضعیت زمان‌بندی اولیه را بهبود بخشد یا آن را از نشدنی بودن رها سازد. از سوی دیگر، مسأله را در افق زمانی پیوسته مد نظر می‌گیرد. ابتدا زمان‌بندی با اطلاعات کامل و مشخص اولیه تولید می‌کند و پردازش کارها منطبق با این زمان‌بندی انجام می‌شود و به محض این که اطلاعات جدیدی از موعد تحویل کارها به دست آمد، یک زمان‌بندی جدید منطبق با شرایط جدید تولید می‌شود که به آن زمان‌بندی اصلاح شده می‌گوییم. بنا به گفته سبابونجولکو و بایز (۲۰۰۰) در عملیات صنعتی، اکثر سیستم‌های زمان‌بندی، برای پاسخ‌گویی به رویدادهای غیرمنتظره و اصلاح درست زمان‌بندی اولیه و یا به علت پیچیدگی ترکیبی مسأله زمان‌بندی، که بار اضافی برای فرد برنامه‌ریز ممکن است باشد و باعث تولید زمان‌بندی‌های ضعیف و یا حتی نشدنی توسط او شود، خواهان استفاده از برنامه‌ریزی واکنشی هستند. از نظر دیگر نیز (جیارو، کوبل، پواکوسکی، ۲۰۰۲) با بررسی‌های دقیق، مسأله کارگاه باز را $NP - hard$ دسته‌بندی کرده، لذا در صورت بروز رویدادهای غیرمنتظره حل مجدد مدل اولیه از نظر هزینه محاسباتی و زمان اجرای مدل اولیه، مقرون به صرفه نیست. با توجه به آنچه گفته شد، زمان‌بندی واکنشی در هر سیستم زمان‌بندی با اهمیت است.

و به مدل اضافه می‌شود. در بخش ۶ برای آشنایی هر چه بهتر با روند ارائه شده در بخش‌های پیش، مثال عددی بررسی می‌شود و در بخش ۷ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مقاله ارائه می‌شود.

۲- پیشینه و ادبیات مسأله

هر چند در گذشته توجه کمتری نسبت به مسائل کارگاه باز شده اما، به نظر می‌رسد در سال‌های اخیر مسائل زمان‌بندی کارگاه باز مد نظر پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است. با این حال، مسائل کارگاه باز در مقایسه با سایر مسائل زمان‌بندی سهم بسیار اندکی از ادبیات موضوع را به خود اختصاص داده است.

سدنو، ال‌کاید لویز دی پابلو، گونزالز مارتین (۲۰۰۹) روشی را بر مبنای جریان شبکه با فرض وجود پنجره زمانی، قابلیت بریدگی کارها ارائه نمودند. محدودیت پنجره زمانی آنها نیز باید به طور اکید برقرار شود. آنها به طور هم‌زمان دو معیار را برای کمینه‌سازی انتخاب نمودند. چن و هانگ و تانگ (۲۰۰۸) به بررسی توالی‌های انبوه برای مسأله زمان‌بندی کارگاه باز پرداختند. آنها در پژوهش خود مسأله مورد نظر را با فرض وجود محدودیت‌های زمان‌های ترخیص بررسی نمودند. همچنین، در سناریوی مورد نظر خود مسأله کارگاه باز را با محدودیت عدم وجود زمان بیکاری ماشین‌ها مطالعه کرده‌اند. موشیف و یاول (۲۰۰۸) به بررسی زمان‌بندی کارگاه باز دسته‌ای پرداختند. آنها در مسأله خود فرض نمودند که زمان پردازش کارها مشابه بوده و زمان‌های آماده‌سازی را وابسته به توالی در نظر گرفتند. همچنین، در سناریوی مورد بررسی وی،

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته، برای مسائل زمان‌بندی در محیط کارگاه باز ارائه شده است که زمان‌بندی اولیه برای مسأله از آن به دست خواهد آمد. اما با توجه به طبیعت غیر قطعی مسأله کارگاه باز، همیشه به علت توسعه ساختار یا اتفاقات ضروری پیش‌بینی نشده در کارگاه، تغییر کرده و در نتیجه زمان‌بندی اولیه نیز باید تغییر کند، از این‌رو، نیاز به ارائه یک برنامه‌ریزی واکنشی برای مسأله وجود دارد. لفظ واکنشی در سبابونجولکو و بایز (۲۰۰۰) اصلاحی^۱ و در سوه، لی و کو (۱۹۹۸) واکنشی^۲ نامیده شده است و بخش واکنشی یک سیستم در واقع کار مانیتورینگ اجرا و انجام زمان‌بندی اولیه را بر عهده دارد و همچنین، باید از عهده اتفاقات غیر منتظره سیستم که زمان‌بندی را عوض می‌کند به خوبی برآید. در این مقاله، پارامتر حساس و کلیدی موعد تحویل که در اجرا و ارائه زمان‌بندی مناسب نقش عمده‌ای را بر عهده دارد، از نظر برنامه‌ریزی واکنشی بررسی می‌شود. به عبارت دیگر، این مقاله، برنامه‌ریزی واکنشی متمرکز بر موعد تحویل ارائه می‌دهد.

این مقاله، به این شکل مرتب شده که در بخش ۲ مروری بر پیشینه و ادبیات مسأله زمان‌بندی کارگاه باز دارد، در بخش ۳ مسأله زمان‌بندی کارگاه باز^۳ را تشریح می‌شود، در بخش ۴ فرمول‌بندی برای مسأله کارگاه باز ارائه می‌شود که زمان‌بندی اولیه را تولید می‌کند، بخش ۵ به توسعه مدل و ارائه برنامه‌ریزی واکنشی در شرایط بروز تغییر در موعد تحویل می‌پردازد، به همین منظور، ابتدا الگوریتمی برای تشخیص عملیات‌های بدون تغییر معرفی می‌شود و در ادامه؛ پارامترها، متغیرها و قیود جدیدی را تعریف

دسته‌ها در هر لحظه آماده پردازش هستند. هدف از این مسأله محاسبه مقدار بهینه هر دسته بوده است. نودا و آکاید و مارتین (۲۰۰۶) رویکردهای جریان شبکه را برای مسائل زمان‌بندی با مجاز بودن بریدگی کارها و با فرض وجود پنجره زمانی ارائه دادند. لیاو (۲۰۰۵) مسأله زمان‌بندی کارگاه باز را برای کمینه‌سازی کل دیرکردها و با فرض مجاز بودن بریدگی کارها بررسی کرد. لیونگ و لی و پیندو و سریسکاندری (۲۰۰۵) مسأله کارگاه باز را با فرض کارهای متداخل مطالعه نمودند. آنها مسأله را در حالت دو ماشین بررسی و فرض کردند که هر کار باید روی هر دو ماشین پردازش شود. البته در پژوهش آنان برخلاف مسأله کارگاه باز کلاسیک، هر دو عملیات مربوط به یک کار می‌توانند در یک زمان با یکدیگر تداخل داشته باشند. تابع هدفی که برای کمینه‌سازی انتخاب شده کل زمان اتمام کارها است.

لیاو و چنگ و چن (۲۰۰۵) زمان‌بندی دو ماشین در محیط کارگاه باز در حالت بدون توقف را بررسی کردند. آنها حداکثر زمان تکمیل کارها را به عنوان یک معیار برای کمینه‌سازی انتخاب نمودند. چنگ و شاخلویچ (۲۰۰۵) بر روی کمینه‌سازی توابع هدف غیر نزولی جدا از هم، برای مسأله زمان‌بندی کارگاه باز با زمان واحد پرداختند. آنها در مطالعه خود هر دو حالت مجاز بودن و نبودن بریدگی را بررسی نمودند. این پژوهشگران برای مجموعه توالی‌های موجه، زمان‌های اتمام کار را محاسبه کردند. براساس خواص چند وجهی زمان‌بندی حاصل، آنها نشان دادند که مسأله ایجاد یک توالی بهینه، برای کمینه‌سازی یک تابع هزینه مجزای غیر نزولی از زمان

اتمام کار، به صورت چندجمله‌ای قابل حل است. شاخلویچ (۲۰۰۵) مسأله زمان‌بندی کارگاه باز را با فرض وجود عملیات‌های زمان واحد و تابع هدف غیر صعودی و متقارن وابسته به زمان اتمام کارها بررسی نمود. براسل و هنس (۲۰۰۴) به مطالعه مسأله کارگاه باز با فرض مجاز بودن بریدگی کارها پرداخته‌اند، آنها معیار متوسط زمان اتمام کارها را در مسأله خود در نظر گرفته و مدل‌های جدیدی از مسائل زمان‌بندی با فرض مجاز بودن بریدگی ارائه کرده‌اند. موشیف و یول (۲۰۰۴) مطالعه‌ای را در مورد زمان‌بندی جریان کارگاهی و کارگاه باز با فرض وجود ماشین بحرانی انجام دادند. آنها فرض کردند که هر کار حداکثر از دو عملیات تشکیل می‌شود. یکی از این دو عملیات برای همه کارها مشترک است. آکر و هوشاوین و وگینر (۲۰۰۳) به بررسی مسأله زمان‌بندی در محیط کارگاه باز دارای دو ماشین پرداختند. در این سناریو، هر کار شامل دو عملیات بوده و فرض می‌شود که عملیات تولید (دوم) باید توسط ماشین اول (دوم) انجام شود. در این پژوهش، ترتیبی که عملیات‌ها باید انجام شود ثابت نبوده و بازه‌های زمانی پردازش آنها نمی‌تواند تداخل داشته باشد. سراج و توکلی مقدم (۲۰۰۹)، یک الگوریتم جستجوی ممنوع چند هدفه جدید که بر مبنای رویکرد تصمیم‌گیری چند هدفه فازی است، برای مسأله کارگاه باز دوهدفه ارائه نمودند. آنها مسأله پیشنهادی خود را با پارامترهای قطعی در نظر گرفته و در آن به حداقل‌سازی میانگین زمان‌های تکمیل و میانگین مقادیر دیرکرد کارها به طور همزمان پرداختند. در مدل ارائه شده، زمان‌های آماده‌سازی به شکل مستقل از توالی در نظر گرفته شده است. نوری

مجموع دیرکرد معیاری برای اندازه‌گیری تأخیر در تحویل به موقع محصولات محسوب می‌شود.

۳-۱- فرضیه‌ها مسأله

فرضیه‌های ذیل برای مدل‌سازی مسأله در نظر گرفته شد.

- ۱) کارها می‌توانند با هر ترتیب دلخواهی بر روی ماشین‌ها پردازش شوند.
- ۲) زمان پردازش کارها بر روی ماشین‌های متفاوت می‌تواند با هم تفاوت داشته باشد.
- ۳) هر کار در هر لحظه حداکثر می‌تواند بر روی یک ماشین پردازش شود.

- ۴) بریدگی کارها و خرابی ماشین‌ها مجاز نیست.
- ۵) درجه اهمیت کارها الزاماً یکسان نیست.
- ۶) هر کار دارای موعد تحویل معینی است.
- ۷) از هر نوع ماشین تنها یکی در محیط کاری موجود دارد.

۳-۲- نمادهای ریاضی

با در نظر گرفتن روابط و فرضیه‌های بالا، مسأله مد نظر به شکل یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته مدل‌سازی شده که در زیر مجموعه‌ها، پارامترها، متغیرها و سرانجام محدودیت‌های لازم ارائه می‌شوند.

درویش و ایرج مهدوی و نظام مهدوی امیری (۲۰۱۲) زمان‌بندی کارگاه باز را با دنباله وابسته به زمان آماده‌سازی، زمان پردازش فازی و زمان تحویل فازی در نظر گرفتند. در سبابونجولکو و بایز (۲۰۰۰) بررسی کاملی مرتبط با کارهای صورت گرفته در برنامه‌ریزی واکنشی جریان کارگاهی (JSSP) انجام شده است.

زمان‌بندی واکنشی برای پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز سیستم‌های زمان‌بندی با اهمیت است اما، تاکنون هیچ پژوهش قابل ملاحظه‌ای در ارتباط با زمان‌بندی واکنشی مسأله کارگاه باز انجام نشده است، این مقاله، به بررسی این موضوع می‌پردازد.

۳- تعریف و فرضیه‌ها مسأله

مسأله زمان‌بندی در محیط کارگاه باز $n \times m$ متشکل از m ماشین و n کار است که هر کار تشکیل شده از دنباله $O_j = (o_{j1}, o_{j2}, \dots, o_{jm})$. هر عملیات O_{ji} پردازشی از کار j روی ماشین i است و دارای زمان پردازش مشخص P_{ji} است، بنابراین، هر کار j حداکثر شامل m عملیات روی m ماشین است به عبارت دیگر هر کار حداکثر یک پردازش روی هر ماشین دارد و ترتیب پردازش کار j مشخص نیست، هر ماشین حداکثر یک کار را می‌تواند در یک زمان پردازش کند و بریدگی کارها مجاز نیست، به این معنی که پردازش یک عملیات از لحظه‌ای که شروع می‌شود تا زمانی که کامل شود ادامه پیدا می‌کند و از ماشین جدا نمی‌شود. تابع هدف مسأله کمینه‌سازی مجموع دیرکرد کارها در نظر گرفته شده است.

| مجموعه‌ها و اندیس‌ها | | |
|----------------------|----------|-----------------------------|
| توصیف مجموعه | اندیس‌ها | مجموعه‌ها |
| مجموعه کارها | k, j | $Job = \{1, 2, \dots, n\}$ |
| مجموعه ماشین‌ها | i, l | $Machine = \{1, \dots, m\}$ |

پارامترها

تمام پارامترها با علامت ($\bar{}$) بالای آن‌ها قابل تشخیص هستند.

| توضیح | پارامتر |
|--|----------------|
| یک عدد به اندازه کافی بزرگ | \bar{M} |
| زمان مورد نیاز برای پردازش کار z روی ماشین i | \bar{P}_{ij} |
| موعد تحویل کار z | \bar{d}_z |
| وزن کار z یا میزان اهمیت آن نسبت به دیگر کارها | \bar{w}_z |

متغیرهای تصمیم پیوسته و دودویی

| توضیح | متغیر |
|--|---------------|
| متغیر دودویی؛ یک است اگر کار z اول روی ماشین i انجام شود و بعد روی ماشین l | x_{zil} |
| متغیر دودویی؛ یک است اگر روی ماشین i اول کار z انجام شود بعد کار k | y_{jik} |
| زمان اتمام و تکمیل کار z روی ماشین i | C_{ji} |
| مقدار تأخیر در ارائه کار z از موعد تحویلش | $tardiness_j$ |
| زمان شروع پردازش کار z روی ماشین i | S_{ji} |
| زمان پایان کار z روی تمام ماشین‌ها | end_j |
| متغیری عدد صحیح است، نوبت کار z در برنامه ترتیبی ماشین i را مشخص می‌کند. | $Rjob_{ji}$ |
| متغیری عدد صحیح است، نوبت ماشین i در برنامه ترتیبی کار z را مشخص می‌کند. | $Rmac_{ji}$ |

۳-۳- مدل ریاضی

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته به شکل زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\sum_{j=1}^n \bar{w}_j * tardiness_j \quad (1)$$

s. t.

$$C_{ki} \geq C_{ji} + \bar{P}_{ki} - \bar{M} \times y_{jik}, \quad \forall j, i, k \text{ and } j \neq k \quad (2)$$

$$C_{ji} \geq C_{ki} + \bar{P}_{ji} - \bar{M}(1 - y_{jik}), \quad \forall j, i, k \text{ and } j \neq k \quad (3)$$

$$C_{ji} \geq C_{jl} + P_{ji} - \bar{M} \times x_{jil}, \quad \forall j, i, l \text{ and } i \neq l \quad (4)$$

$$C_{jl} \geq C_{ji} + P_{jl} - \bar{M} \times (1 - x_{jil}), \quad \forall j, i, l \text{ and } i \neq l \quad (5)$$

$$end_j \geq C_{ji}, \quad \forall j, i \quad (6)$$

$$end_j \leq \bar{d}_j + tardiness_j, \quad \forall j, i \quad (7)$$

$$n - \sum_{k=1}^n y_{jik} = Rjob_{ji}, \quad \forall j, i \text{ and } j \neq i \quad (8)$$

$$m - \sum_{l=1}^m x_{jik} = Rmac_{ji}, \quad \forall j, i \text{ and } j \neq i \quad (9)$$

کارهای بعد از کار j را می‌شماریم، چون مجموع کارهای بعد از کار p ام، عدد $n - p$ است مجموع را از n که تعداد کل کارهاست کم کرده‌ایم. در (۹) مانند قید ۸ است با این تفاوت که نوبت تمام ماشین‌ها را در برنامه ترتیبی کار j مشخص می‌کند. یعنی در قید ۸ برنامه ترتیبی ماشین به دست می‌آید و در قید ۹ برنامه ترتیبی کارها مشخص می‌شوند. برای مثالی با ۱ کار و ۳ ماشین داریم: $Rmac_{11} = 2$ و $Rmac_{12} = 3$ و $Rmac_{13} = 1$ یعنی کار ۱ اول روی ماشین ۳ بعد روی ماشین ۱ و در انتها روی ماشین ۲ انجام می‌شود. در واقع، در این قید مجموع کل ماشین‌های بعد از بعد i را می‌شماریم، چون مجموع ماشین‌های بعد از ماشین p ام، عدد $m - p$ است مجموع را از m که تعداد کل ماشین‌هاست کم کرده‌ایم. با توجه به این که مسأله کارگاه باز $NP - hard$ است؛ استفاده از مدل و روشی که در صورت بروز رخدادهای مختل کننده نیاز به حل مجدد مدل اولیه نباشد؛ بسیار حایز اهمیت است، از این رو در بخش بعد، مقاله به ارائه مدل واکنشی می‌پردازد.

(۱) تابع هدف مدلی است که شامل مجموع تأخیر در تحویل کل کارهاست، محدودیت (۲) و (۳) ترتیب کارها بر روی تک تک ماشین‌ها را مشخص می‌کنند به بیان دیگر، کار j روی ماشین i پیش از کار k باشد یا بعد از آن، محدودیت (۴) و (۵) ترتیب ماشین‌ها برای هر کار را مشخص می‌کنند به بیان دیگر، کار j روی ماشین i پیش از ماشین l باشد یا بعد از آن. در (۶) زمان پایان کار j روی تمام ماشین‌ها: end_j را بزرگتر مساوی زمان پایان تمام عملیات‌های کار j یعنی C_{ji} قرار می‌دهیم. در (۷) میزان تأخیر از موعد تحویل کارها محاسبه می‌شود یعنی زمان تکمیل کار j اگر پیش یا برابر زمان تحویل \bar{d}_j باشد که $tardiness_j$ برابر صفر می‌شود اما، اگر کار بعد از موعد تحویل آماده شود $tardiness_j$ مقداری بزرگتر از صفر خواهد گرفت. در (۸) نوبت تمام کارها را در برنامه ترتیبی ماشین i مشخص می‌کنیم برای مثالی با ۳ کار و یک ماشین داریم: $Rjob_{11} = 3$ ، $Rjob_{21} = 1$ و $Rjob_{31} = 2$ یعنی روی ماشین ۱ اول کار ۲ بعد کار ۳ و بعد کار ۱ انجام می‌شود. در واقع، در این قید مجموع کل

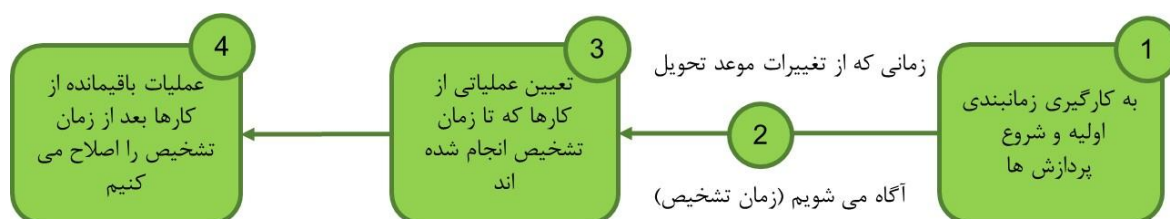
۴- توسعه مدل به برنامه‌ریزی واکنشی

بر اساس نظرون ده واندرو دیلمستر و هرولن (۲۰۰۷) اصلاح زمان‌بندی اولیه می‌تواند به شکل، استواری پاسخ، استواری کیفیت^۵ یا ترکیبی باشد. هدف در گونه استواری پاسخ این است که تغییرات ایجاد شده بین زمان‌بندی اصلاح شده و برنامه زمان‌بندی اولیه حداقل باشد و در واقع، تابع هدف این مدل کمینه‌سازی تغییرات زمان‌بندی اولیه و اصلاح شده است به بیان دیگر، تابع هدف از نوع کمینه‌سازی انحراف مسأله اولیه از مسأله ثانویه است، در گونه استواری کیفیت به بالا بردن کیفیت جواب توجه می‌شود و تابع هدف آن نیز معمولاً همان تابع هدف مدل اولیه است و به تغییرات ایجاد شده بین زمان‌بندی اصلاح شده و برنامه زمان‌بندی اولیه توجهی نمی‌کند.

در گونه ترکیبی تابع هدف نسبت به مدل اولیه تغییر نمی‌کند اما سقف و کران بالایی برای تغییرات بین زمان‌بندی اولیه و اصلاح شده در قیود در نظر گرفته می‌شود.

در این مقاله گونه ترکیبی برنامه‌ریزی واکنشی استفاده شده است، یعنی یک کران که توسط مدیر و ناظر سیستم برای کنترل تغییرات نسبت به زمان‌بندی اولیه در نظر می‌گیرد. به بیان دیگر، به دنبال کمینه کردن تأخیر ارائه کارها در زمان‌بندی اصلاح شده است، اما سعی دارد تغییرات بین زمان‌بندی اصلاح شده و اولیه را نیز کنترل کند.

ابتدا کلیت اصلاح زمان‌بندی اولیه در شکل ۱ نشان داده شده است:



شکل ۱- روند اصلاح زمان‌بندی اولیه

می‌شود، اما اگر تغییری در موعد تحویل ایجاد شود، زمانی که از تغییرات آگاه شویم مجبور به اصلاح زمان‌بندی اولیه هستیم. بدیهی است که هرچه عملیات کمتری از کارها باقیمانده باشد و مدت بیشتری از زمان‌بندی اولیه استفاده شده باشد دیگر اصلاح زمان‌بندی اولیه اهمیت و کاربرد کمتری خواهد داشت.

شکل ۱ به مرحله اول (زمان‌بندی اولیه) و مرحله دوم (زمان تشخیص یا زمان مطلع شدن از تغییرات)

پیش از تشریح چگونگی اصلاح زمان‌بندی اولیه باید مفهوم زمان تشخیص تعریف شود.

زمان تشخیص: به زمان مطلع شدن از تغییرات صورت گرفته در موعد تحویل، زمان تشخیص گفته می‌شود.

زمان‌بندی اولیه در کارگاه به کار گرفته می‌شود و پردازش کارها بر روی ماشین‌ها آغاز می‌شود. اگر تغییری در موعد تحویل کارها ایجاد نشود، زمان‌بندی اولیه تا پردازش تمامی عملیات‌های کارها اجرا

مقایسه بین زمان شروع و زمان تشخیص است و با وجود الگوریتم‌های مقایسه با زمان اجرای بسیار مناسب، توانایی این الگوریتم برای حل مسائل با سایز بزرگ تضمین شده است.

اگر زمان شروع پردازش کار پیش از زمان تشخیص باشد و چون بریدگی کار از ماشین در این مسأله مجاز نیست، لذا زمان شروع پردازش کار J روی ماشین i در زمان بندی اصلاح شده نیز باید برابر با زمان بندی اولیه باشد. بدین منظور باید fix_{ji} (که متغیری دودویی است برابر یک است؛ یعنی این امکان وجود دارد که زمان شروع پردازش کار J روی ماشین i در زمان بندی اصلاح شده نسبت به زمان بندی اولیه متفاوت باشد و اگر صفر شود یعنی باید زمان شروع پردازش کار J روی ماشین i با مقدار آن در زمان بندی اولیه یکسان باشد) برابر صفر شود تا زمان بندی اصلاح شده به رعایت برابری با زمان بندی اولیه تا پیش از زمان تشخیص ملزوم شود.

حال که عملیات پیش و بعد زمان تشخیص معین شده‌اند، در مرحله چهارم بایستی اصلاحات لازم بر روی عملیاتی که بعد از زمان تشخیص انجام خواهند شد، اعمال شود. برای این کار از مدل *Reactive* استفاده شده است.

۱-۲- مدل *Reactive*

هدف از به کارگیری این مدل اصلاح زمان بندی اولیه با توجه به تغییر در موعد تحویل است و بدین صورت انجام می‌گیرد که وقتی در زمان تشخیص، تغییری در موعد تحویل کارها رخ دهد، بایستی زمان بندی جدیدی ارائه شود به طوری که مولفه

اشاره دارد. در مرحله سوم به این علت که در زمان بندی جدید (اصلاح شده)، عملیات کارهای پیش از زمان تشخیص را نمی‌شود تغییر داد، بایستی زمان بندی عملیات پردازش نشده تغییر یابد. برای این کار الگوریتمی ارائه شده است.

تمام پارامترها، متغیرها و مولفه‌های زمان بندی اولیه با علامت *ini* که در بالای آن قرار می‌گیرد مشخص شده‌اند. برای مثال، end_{ji}^{ini} زمان پایان تمام پردازش‌های مورد نیاز کار J در زمان بندی اولیه است. برای اجرای دسته بندی پردازش عملیات از الگوریتم زیر استفاده شد.

۱-۱- الگوریتم دسته بندی *Oini*:

در زمان بندی اصلاح شده، عملیاتی که پیش از زمان تشخیص انجام شده‌اند، قابل تغییر نیستند. الگوریتمی که در شکل نمایش داده شده است، در واقع عملیات O_{ji} را بر حسب زمان تشخیص دسته بندی می‌کند. مقاله در ادامه به تشریح این الگوریتم می‌پردازد.

```

for1 j ∈ job do
  for2 i ∈ machine do
    if3 Sjiini ≤ realizing.time then
      fixji = 0;
    endif3;
  endfor2;
endfor1;
    
```

شکل ۲- الگوریتم دسته بندی *Oini*

در حلقه تکرار، این که زمان شروع پردازش کار J روی ماشین i پیش از زمان تشخیص (*realizing.time*) بوده یا بعد از آن بررسی می‌شود. با توجه به این که تنها عمل این الگوریتم

تمام عملیاتش تا زمان تشخیص با زمان‌بندی اولیه برابر باشد و برای مدت زمان باقی‌مانده با توجه به موعد تحویل جدید کمترین تأخیر در موعد تحویل داشته باشد. لذا برای این منظور، مدل *Reactive* ارائه می‌شود.

شایان ذکر است، مجموعه‌ها و اندیس‌های این مدل مشابه با آنچه در بخش ۴-۱ تعریف شده است.

پارامترها

علاوه بر پارامترهای بخش ۴-۲ چون بایستی تعداد تغییرات بین زمان‌بندی اولیه و اصلاح شده نیز کنترل شود، نیاز به تعریف پارامترهای جدیدی به شرح زیر است.

پارامترهای جدید مدل واکنشی

| پارامتر | مقادیر مجاز | توضیح |
|--------------------|----------------------|--|
| \overline{chy}_i | $\{0, 2, \dots, m\}$ | پارامتری عدد صحیح است، حداکثر تعداد تغییراتی که در برنامه ترتیبی ماشین i در زمان‌بندی اصلاح شده نسبت به زمان‌بندی اولیه می‌توان ایجاد کرد را در نظر می‌گیرد. |
| \overline{chx}_j | $\{0, 2, \dots, n\}$ | پارامتری عدد صحیح است، حداکثر تعداد تغییراتی که در برنامه ترتیبی کار j در زمان‌بندی اصلاح شده نسبت به زمان‌بندی اولیه می‌توان ایجاد کرد را در نظر می‌گیرد. |
| fix_{ji} | $\{0, 1\}$ | پارامتری باینری است، یک می‌شود اگر زمان شروع عملیات کار j روی ماشین i در زمان‌بندی اصلاح شده و اولیه متفاوت باشد و صفر است اگر زمان شروع آنها یکسان باشد. |

عدد ۱ باشد. به بیان دیگر عدد ۱ برای این پارامتر، همان عمل عدد صفر را انجام می‌دهد. حداکثر مقدار این پارامتر نیز در شرایطی که ترتیب تمام کارها تغییر کند و جایگشتی کاملاً متفاوت از ترتیب کارها حاصل شود m است. همین استدلال برای مقادیر پارامتر \overline{chx}_j نیز قابل بیان است.

منظور از $\{0, 2, \dots, m\}$ برای پارامتر \overline{chy}_i اعداد صحیح از ۰ تا m (تعداد ماشین‌ها) به غیر از یک است چون اگر یک ترتیب یا نوبت یک کار در برنامه ترتیبی ماشین i تغییر کند، مطمئناً با کار دیگری جابجا شده است، پس نوبت آن کار نیز تغییر کرده و لذا تعداد تغییرات ۲ است و این پارامتر نمی‌تواند

۱-۲-۱- متغیرهای تصمیم پیوسته و دودویی

به همراه متغیرهای ۴-۳ نیاز به تعریف متغیرهای زیر وجود دارد:

متغیرهای جدید مدل واکنشی

| متغیر | توضیح |
|-----------|--|
| xp_{ji} | متغیری دودویی است که برابر یک می‌شود زمانی که نوبت ماشین i در برنامه ترتیبی کار j در زمان‌بندی اولیه و زمان‌بندی اصلاح شده یکسان نباشد. یعنی $Rmac_{ji} \neq Rmac_{ji}^{ini}$. |
| yp_{ji} | متغیری دودویی است که برابر یک می‌شود زمانی که نوبت کار j در برنامه ترتیبی ماشین i در زمان‌بندی اولیه و زمان‌بندی اصلاح شده یکسان نباشد. یعنی $Rjobc_{ji} \neq Rjob_{ji}^{ini}$. |

۱-۲-۲- محدودیت های مدل

پارامتر مقدار صفر یا یک داده شود و در نتیجه این امکان به مدیر و کنترل کننده سیستم داده می شود که زمان شروع عملیات های بعد از زمان تشخیص را مدیریت کند و در صورت لزوم برای زمان شروع آنها نیز زمان بندی اصلاح شده را یکسان با زمان بندی اولیه نماید.

در ادامه به محدودیت های کنترلی دیگری نیاز است تا اختلاف بین زمان بندی اولیه و اصلاح شده را مدیریت شود. همان طور که در مدل بخش ۴-۴ ارائه شد، دو متغیر $Rjob_{ji}$ و $Rmac_{ji}$ برنامه ترتیبی ماشین i و برنامه ترتیبی کار j را مشخص می کردند. برای رعایت حداکثر تعداد تغییرات در این ترتیب ها بین زمان بندی اولیه و اصلاح شده باید قیود (۱۲) تا (۱۷) به مدل اضافه شود

قیود (۱۰) و (۱۱) باید به مدل $Reactive$ اضافه شوند تا برای عملیات انجام شده پیش زمان تشخیص، زمان بندی اصلاح شده مجبور به تبعیت از زمان بندی اولیه کند، در غیر این صورت به گذشته برگشته و کارهای گذشته را اصلاح شده اند که امری غیر ممکن است.

$$S_{ji}^{ini} - S_{ji} \leq \bar{M} \times fix_{ji}, \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$S_{ji} - S_{ji}^{ini} \leq \bar{M} \times fix_{ji}, \quad \forall i, j \quad (11)$$

با استفاده از الگوریتم دسته بندی O^{ini} مقادیر پارامتر fix_{ji} برای عملیات انجام شده پیش از زمان تشخیص باید صفر باشد، لذا زمان شروع عملیات کار j روی ماشین i در زمان بندی اصلاح شده و اولیه باید یکسان باشد. اما برای بقیه عملیات ها می تواند به این

$$Rmac_{ji}^{ini} - Rmac_{ji} \leq \bar{M} \times xp_{ji}, \quad \forall i, j \quad (12)$$

$$Rmac_{ji} - Rmac_{ji}^{ini} \leq \bar{M} \times xp_{ji}, \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m xp_{ji} \leq \overline{chx}_j, \quad \forall j \quad (14)$$

$$Rjob_{ji}^{ini} - Rjob_{ji} \leq \bar{M} \times yp_{ji}, \quad \forall j, i \quad (15)$$

$$Rjob_{ji} - Rjob_{ji}^{ini} \leq \bar{M} \times yp_{ji}, \quad \forall j, i \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n yp_{ji} \leq \overline{chy}_i, \quad \forall i \quad (17)$$

این اختلاف وجود داشته باشد، متغیر xp_{ji} مقدار یک اختیار می کند (در واقع ترکیب این ۲ قید کار قدر مطلق را انجام می دهد) و با استفاده از قید (۱۴) اجازه نمی دهد مجموع تعداد این تغییرات از حداکثر تعداد تغییرات در نظر گرفته شده توسط کنترل کننده سیستم،

با توجه به تعریف، xp_{ji} متغیری دودویی است که اگر برابر یک باشد نشان می دهد نوبت ماشین i در برنامه ترتیبی کار j در زمان بندی اولیه و زمان بندی اصلاح شده یکسان نیست. یعنی: $Rmac_{ji} \neq Rmac_{ji}^{ini}$ در قیود (۱۲) و (۱۳) برای هر i و j اگر

نتیجه ممکن است به زمان‌بندی جدید بهتری دست یابد.

قیود (۱۰) تا (۱۷) به همراه قیود (۲) تا (۹) و تابع هدف (۱) مدل برنامه‌ریزی واکنشی را تشکیل می‌دهند.

۲- مثال عددی

حال مثالی عددی جهت تشریح و پیاده‌سازی مدل ارائه می‌شود. کلیه مدل‌ها با نرم افزار AIMMS 3.9 پیاده‌سازی و با Solver، CPLEX 12.3 حل شده‌اند. مثال مورد نظر توسط رایانه‌ای با مشخصات زیر حل شده است:

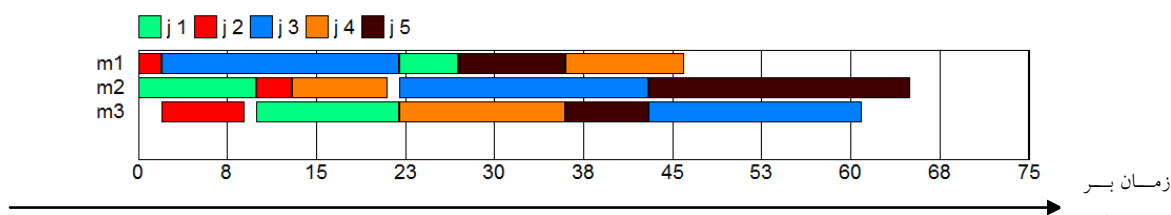
Pentium(R) Dual-Core CPU 3.06GHz, 4GB of RAM

مسأله کارگاه باز با ۳ ماشین و ۵ کار در نظر گرفته می‌شود. داده‌های مربوط به زمان پردازش کارها بر روی ماشین‌ها و زمان تحویل کارها بر حسب ثانیه در ارائه شده است

جدول ۱- زمان پردازش و موعد تحویل کارها

| کارها | ماشین ۱ | ماشین ۲ | ماشین ۳ | زمان تحویل کارها |
|-------|---------|---------|---------|------------------|
| کار ۱ | ۵ | ۱۰ | ۱۲ | ۴۰ |
| کار ۲ | ۲ | ۳ | ۷ | ۲۰ |
| کار ۳ | ۲۰ | ۲۱ | ۱۸ | ۶۰ |
| کار ۴ | ۱۰ | ۸ | ۱۴ | ۴۵ |
| کار ۵ | ۹ | ۲۲ | ۷ | ۵۰ |

در شکل ۲ نمودار گانت زمان‌بندی اولیه مشاهده می‌شود همچنین، این مثال نیز در ۷ ثانیه به جواب بهین رسید.



شکل ۲- نمودار گانت مربوط به زمان‌بندی اولیه

یعنی $\overline{chx_j}$ بیشتر شود. همینطور، قیود (۱۵) تا (۱۶) نیز در برنامه ترتیبی ماشین‌ها محدودیت لازم و مشابه را اعمال می‌کنند، یعنی می‌خواهد yp_{ji} اختلاف نوبت کارها در برنامه ترتیبی ماشین‌ها را در زمان‌بندی اولیه با زمان‌بندی اصلاح شده محاسبه کند و در اینجا نیز اجازه نمی‌دهد مجموع تعداد این تغییرات از حداکثر تعداد تغییرات در نظر گرفته شده توسط کنترل‌کننده سیستم یعنی $\overline{chy_i}$ بیشتر شود.

در کل، قیود بالا برای کنترل اختلاف زمان‌بندی اولیه نسبت به زمان‌بندی جدید به کار گرفته شده، میزان تغییرات را مدیر یا تصمیم‌گیرنده سیستم توزیع مشخص می‌کند. در صورتی که این مقادیر صفر باشد، در واقع زمان‌بندی جدید مجبور است در کلیه مولفه‌ها با زمان‌بندی اولیه برابر باشد و هر چه این مقادیر بزرگتر باشد، فضای شدنی افزایش یافته و در

اجرای مدل واکنشی نیاز به پارامترهای کنترلی نیز است که مقادیر این پارامترها و موعد تحویل جدید در جدول ۲ و جدول ۳ آورده شده است

این مقاله، در ادامه برای بررسی مدل برنامه‌ریزی واکنشی ارائه شده، به ازای زمان تشخیص ۵، ۱۵ و ۲۵ می‌پردازد، به این صورت که در به ازای هر یک از این زمان‌های موعد تحویل تغییر می‌یابد. البته برای

جدول ۲- پارامترهای کنترلی کارها و موعد تحویل تغییر یافته

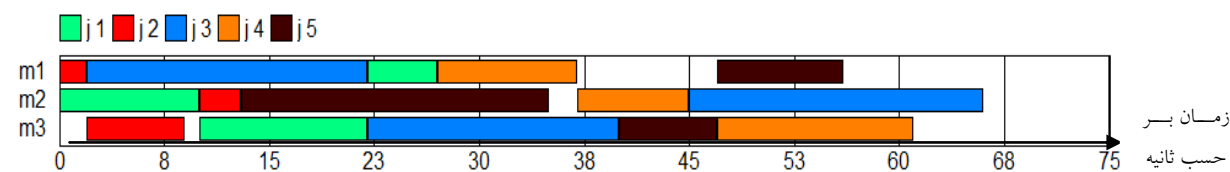
| کارها | \overline{chx}_j | موعد تحویل اولیه | موعد تحویل جدید |
|-------|--------------------|------------------|-----------------|
| کار ۱ | ۲ | ۴۰ | ۳۵ |
| کار ۲ | ۲ | ۲۰ | ۱۵ |
| کار ۳ | ۲ | ۶۰ | ۵۰ |
| کار ۴ | ۳ | ۴۵ | ۶۰ |
| کار ۵ | ۳ | ۵۰ | ۵۰ |

در جدول ۲ امکان تغییر ترتیب ماشین‌ها برای کار j مقداردهی شده است. در جدول (۳) امکان تغییر ترتیب کارها برای ماشین i مقدار ۴ در نظر گرفته شده به این معنی که در برنامه ترتیبی ماشین i حداکثر ۴ کار می‌تواند تغییر ترتیب دهند. هر چه این مقادیر بزرگتر انتخاب شود امکان تغییر زمان‌بندی اصلاح شده نسبت به زمان‌بندی اولیه بیشتر خواهد بود و با کوچک کردن این مقادیر برنامه زمان‌بندی اصلاح شده به زمان‌بندی اولیه نزدیک‌تر خواهد شد. شکل ۴ تا ۶ نمودارهای گانت مربوط به زمان‌بندی اصلاح شده در زمان‌های تشخیص ۵، ۱۵ و ۲۵ را نشان می‌دهند. برنامه‌ریزی واکنشی مربوط به آنها نیز به ترتیب در ۳، ۲۴، ۸، ۲ و ۱، ۶ ثانیه حل شدند.

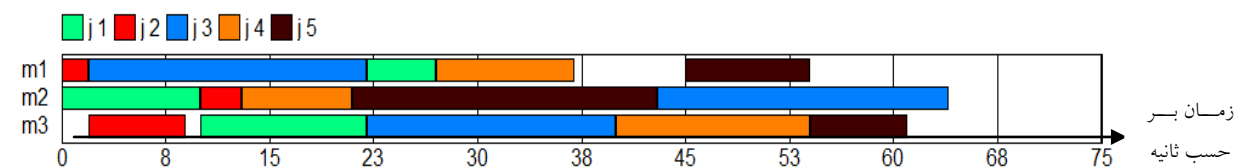
جدول ۳- پارامترهای کنترلی ماشین‌ها

| کارها | \overline{chy}_i |
|---------|--------------------|
| ماشین ۱ | ۴ |
| ماشین ۲ | ۶ |
| ماشین ۳ | ۶ |

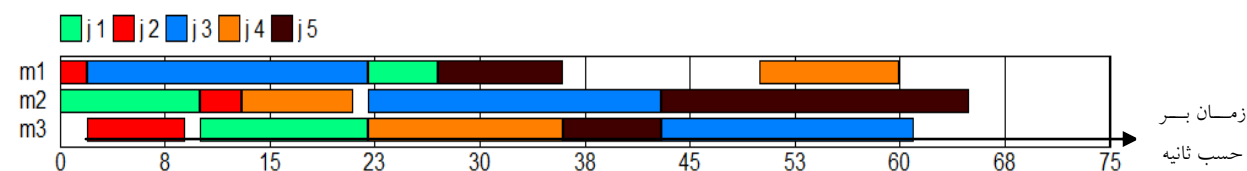
مقدار پارامتر باینری fix_{ji} بایستی یک باشد تا امکان تغییر زمان شروع عملیات کار j روی ماشین i در زمان‌بندی اصلاح شده نسبت به اولیه برای عملیات‌های بعد از زمان تشخیص وجود داشته باشد. در حالت کلی مقدار صفر برای این پارامتر بسیار سختگیرانه است و به زمان‌بندی اصلاح شده اجازه هیچ‌گونه تغییری نمی‌دهد، لذا به غیر شرایط خاص که کنترل‌کننده سیستم به عدم تغییر تاکید دارد مقدار صفر پیشنهاد نمی‌شود.



شکل ۳- نمودار گانت مربوط به زمان‌بندی اصلاح شده به ازای زمان تشخیص ۵



شکل ۴- نمودار گانت مربوط به زمان‌بندی اصلاح شده به ازای زمان تشخیص ۱۵



شکل ۵- نمودار گانت مربوط به زمان‌بندی اصلاح شده به ازای زمان تشخیص ۲۵

در برنامه ترتیبی کار ۲ (رنگ قرمز) هیچ تغییری وجود ندارد.

در برنامه ترتیبی کار ۳ (رنگ آبی) ماشین‌های ۲ و ۳ جابجا شده‌اند، در نتیجه ۲ تغییر وجود دارد.

در برنامه ترتیبی کار ۴ (رنگ نارنجی) ماشین‌های ۱ و ۲ و ۳ جابجا شده‌اند، در نتیجه ۳ تغییر وجود دارد.

در برنامه ترتیبی کار ۵ (رنگ قهوه‌ای تیره) ماشین‌های ۱ و ۲ و ۳ جابجا شده‌اند، بنابراین ۳ تغییر وجود دارد.

به همین ترتیب عملکرد زمان‌بندی اصلاح شده برای زمان‌های تشخیص ۱۵ و ۲۵ نیز بررسی شده اند

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، چون زمان تشخیص تغییر موعد تحویل واحد ۵ ام زمان بوده است، در نتیجه زمان‌بندی اولیه و اصلاح شده تا این ثانیه هیچگونه تفاوتی با هم ندارند اما بعد از این زمان: در برنامه ترتیبی ماشین ۱، ترتیب کارهای ۴ و ۵ جابجا شده است. بنابراین، ۲ تغییر وجود دارد.

در برنامه ترتیبی ماشین ۲ نوبت کار ۳ و ۴ و ۵ جابجا شده است. بنابراین ۳ تغییر وجود دارد.

در برنامه ترتیبی ماشین ۳ نوبت کار ۳ و ۴ جابجا شده است. بنابراین ۲ تغییر وجود دارد.

در برنامه ترتیبی کار ۱ (رنگ سبز) هیچ تغییری وجود ندارد.

شد. به همین منظور، ابتدا الگوریتمی برای تشخیص عملیات بدون تغییر معرفی شد و در ادامه پارامترها، متغیرها و قيود جدیدی را تعریف و به مدل اضافه شد. پس از آن برای آشنایی هر چه بهتر با مطالب ارائه شده بخش‌های پیشی، مثالی عددی ارائه شد که نتیجه آن از نظر کنترل تغییرات بین زمان‌بندی اولیه و اصلاح شده بسیار مطلوب است. زیرا هم تغییرات لازم در برنامه زمان‌بندی ایجاد می‌شود و هم می‌توان کران بالایی برای این تغییرات لحاظ کرد. از نظر زمان اجرا یعنی مقدار زمانی که برنامه برای اجرای کامل مدل مصرف می‌کند. زمان اجرا برنامه‌ریزی واکنشی بسیار مطلوب و کمتر از حل مجدد مدل اصلی است. از نظر پیچیدگی نیز با توجه به اینکه مسأله کارگاه باز *NP - hard* است استفاده از مدل واکنشی که نیاز به حل مجدد مدل اولیه را از بین برده بسیار حایز اهمیت است.

به بیان دیگر، با توجه به این که عملیات تا زمان تشخیص ثابت در نظر گرفته می‌شوند و قيود کنترلی نیز به مدل اضافه می‌شوند، می‌توان دریافت که فضای جواب شدنی مسأله به شدت کاهش می‌یابد و در نتیجه زمان حل کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

در همین راستا، برای یک کار پژوهشی آتی در راستای مطالعه انجام شده می‌توان به تمرکز بر پیچیدگی مدل پیشنهاد شده و همچنین، ارائه الگوریتمی برای حل مدل واکنشی پرداخت.

و نتیجه از نظر کنترل تغییرات بین زمان‌بندی اولیه و اصلاح شده بسیار مطلوب است، زیرا هم تغییرات لازم در برنامه زمان‌بندی ایجاد می‌شود و هم می‌توان کران بالایی برای این تغییرات لحاظ کرد. زمان حل برنامه‌ریزی واکنشی بسیار مطلوب و کمتر از حل مجدد مدل اصلی است. به بیان دیگر با توجه به اینکه عملیات‌های پردازش شده تا زمان تشخیص، ثابت در نظر گرفته می‌شوند و قيود کنترلی نیز به مدل اضافه می‌شوند، می‌توان دریافت که فضای جواب شدنی مسأله به شدت کاهش می‌یابد و در نتیجه زمان حل کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله، پس از مرور ضرورت بررسی و تمرکز بر مدل برنامه‌ریزی واکنشی و ارائه پیشینه و ادبیات مسأله کارگاه باز، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته، برای آن ارائه شد تا زمان‌بندی اولیه برای مسأله توسط آن تولید شود اما با توجه به طبیعت غیرقطعی مسأله کارگاه باز ممکن است بخاطر توسعه ساختار یا اتفاقات ضرورتی پیش‌بینی نشده در کارگاه، نیاز به اصلاح زمان‌بندی اولیه احساس شود. در نتیجه نیاز به ارائه یک برنامه‌ریزی واکنشی برای مسأله وجود دارد. در این مقاله، پارامتر حساس و کلیدی موعد تحویل، که در اجرا و ارائه زمان‌بندی مناسب نقش عمده‌ای را بر عهده دارد، از نظر برنامه‌ریزی واکنشی بررسی شد. به بیان دیگر، به توسعه مدل ارائه شده و تبدیل آن در شرایط بروز تغییر در موعد تحویل به برنامه‌ریزی واکنشی پرداخته

- open shop to minimize total tardiness. *European Journal of Operational Research*, 162, 173-183.
- Match Akturk, M. S. and Gorgulu, E. (1999) . Match-up scheduling under a machine breakdown. *European Journal of Operational Research*, 112(1), 81-97.
- Mosheiov,G. and Yovel,U. (2004). Comments on flow shop and open shop scheduling with a critical machine and two operations per job. *European Journal of Operational Research*, 157, 257-261.
- Mosheiov, G. , Oron, D.(2008). Open shop batch scheduling with identical jobs. *European Journal of Operational Research*, 187, 1282-1292.
- Noda, A.S. , Alcaide, D. , Martin, C.G. (2006). Network flow approaches to preemptive open shop scheduling problems with time windows. *European Journal of Operational Research*, 174, 1501-1518.
- Noori-Darvish, S. , Mahdavi, I. , Mahdavi-Amiri, N. (2012). A bi-objective possibilistic programming model for open shop scheduling problems with sequence-dependent setup times, fuzzy processing times, and fuzzy due dates. *Applied Soft Computing*, 12, 1399–1416.
- Sabuncuoglu, I. and Bayiz,M. (2000). Analysis of reactive scheduling problems in a job shop environment. *European Journal of Operational Research*, 126 (3), 567-586.
- Sedeno-Noda,A. , Alcaide Lopez de Pablo, D. and Gonzalez-Martin, C. (2009). A network flow-based method to solve performance cost and makespan open-shop scheduling problems with time-windows. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 140–154.
- Seraj,O. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009). A tabu search method for a new bi-objective open shop scheduling problem by a fuzzy multi-objective decision making approach. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 22, 1-14.
- Akker, V.D , Hoogeveen, J.A., & Woeginger .G.J. (2003). The two machine open shop problem: To fit or not to fit, that is the question. *Operations Research Letters*, 31, 219-224.
- Brasel, H., & Hennes, H. (2004). On the open shop problem with preemption and minimizing the average completion time. *European Journal of Operational Research*, 157, 607-619.
- Cheng, T.C.E., & Shakhlevich, N.V.(2005). Minimizing non decreasing separable objective function for the unit time open shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 165, 444-456.
- Chen, R., Huang, W., & Tang, G. (2008). Dense open shop schedules with release time. *Theoretical Computer Science*, 407(1–3), 389–399.
- Cowling, P., & Johansson, M. (2002). Using real time information for effective dynamic scheduling. *European Journal of Operational Research*, 139 (2) , 230-244.
- Giara, K. , Kubale, M. , Piwakowski, K. (2002). Complexity results on open shop scheduling to minimize total cost of operations. *International Journal of Complex Systems in Science*, 3, 84-91.
- Jensen, M. T. (2003). Generating Robust and Flexible Job Shop Schedules using Genetic Algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7 (3), 275-288.
- Leung, J.Y.T , Li,H. , Pinedo,M. and Sriskandarajah,C. (2005). Open shops with jobs overlap revisited. *European Journal of Operational Research*, 163, 569-571.
- Liaw, C.F. , Cheng, C.Y. and Chen, M. (2005). Scheduling two machine no wait open shops to minimize makespan. *Computers & Operations Research*, 32, 901-917.
- Liaw, C.F. (2005). Scheduling preemptive

Shakhlevich, N.V. (2005). Open shop unit time scheduling problems with symmetric objective function. *4OR*, 3, 117-131.

Suh, M. S. , Lee, A. , Lee, Y. J. and Ko, Y.K. (1998). Evaluation of ordering strategies for constraint satisfaction reactive scheduling. *Decision Support Systems*, 22(2), 187-197.

Van de vonder ,S. , Demeulemeester, E. and Herroelen, W. (2007). A Classification of preactive-reactive project scheduling procedures . *Journal of Scheduling* ,10 , 167-207.

پی‌نوشت

- 1 -Revisions
- 2 - Reactive
- 3 - Open Shop Scheduling Problem
- 4 -Quality robustness
- 5- Solution robustness

