بسم الله الرحمن الرحيـــــم

دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت

گروه مدیریت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

زمانبندی مجدد پویا در محیط خط تولید چند مدله بر اثر اختلال دوباره کاری

مســـعود مهـدوی

استاد راهنما:

دکتر سعید حکمی نسب احمدآبادی

بهمن ۹٤

شماره: ۳۰۹۴-۴۵۱۵
تاریخ: ۹۴/۱۲/۲۳
ویرایش:

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۶: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **مسعود مهدوی** به شماره دانشجویی۹۲۱۳۸۶۴ .رشته **مدیریت MBA** گرایش **عمومی** تحت عنوان **زمانبندی مجدد پویا بر اثر اختلال دوباره کاری در محیط خط تولید چند مدله** که در تاریخ ۹۴/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه : خوب امتیاز ۱۶/۸۵) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹) ۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ۱۶) ۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر سعید حکمی نسب	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر سید محمد حسن حسینی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر رضا شیخ	دانشیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر سید محمد موسوی شاهرودی	دانشیار	

رئیس دانشکده: دکتر رضا شیخ

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

به پاس زحمات و مهربانیهای فراوانشان

با تشکر از :

استاد گرانقدرم ، جناب آقای دکتر سعید حکمی نسب که صمیمانه مرا در نگارش این اثر یاری نمودند.

و با سپاس از :

اساتید گرامی گروه مدیریت دانشگاه شاهرود

تعهدنامه

اینجانب **مسعود مهدوی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **MBA** دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **زمانبندی مجدد پویا در محیط خط تولید چند مدله بر اثر اختلال دوباره کاری** تحت راهنمائی **دکترسعید حکمی نسب احمدآبادی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.**

چکیده

در سیستم های تولیدی واقعی، به دلیل پویایی محیط تولید، اختلالاتی بروز می کند که برنامه زمانبندی عملیات را تحت تاثیر قرار می دهد. این مسئله، زمانبندی مجدد پویا را برای پاسخ به این اختلالات ضروری می‌کند. لذا برای بالا بردن سرعت تولید، پیوسته باید زمانبندی را به‌روزرسانی کرد. در این پژوهش می کوشیم یک سیستم تولیدی چند مدله را که در اثر دوباره کاری و مشکلات کیفیت دچار آشوب شده است، با استفاده از الگوریتم جستجوی پرتو تصفیه شده (FBS) مجددا زمانبندی کنیم، و تاثیرات زمانبندی مجدد را در اثر اختلال دوباره کاری بررسی کنیم.

کلمات کلیدی :

زمانبندی، زمانبندی مجدد، زمانبندی پویا، خط تولید چند مدله، سیستم تولیدی انعطاف پذیر، الگوریتم جستجوی پرتو، دوباره کاری

فهرست

فصل اول: کلیات پژوهش ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ بیان مسئله پژوهش ۴

۱-۳ اهمیت و ضرورت مسأله پژوهش ۵

۱-۴ بیان نوآوری پژوهش ۵

۱-۵ سوالات پژوهش ۵

۱-۶ روش پژوهش ۶

۱-۷ قلمرو پژوهش ۶

۱-۸ مفروضات پژوهش ۶

۱-۹ ساختار پژوهش ۷

۱-۱۰ مدل مفهومی ۸

۱-۱۱ تعریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی ۹

فصل دوم: چارچوب نظری و پیشینه پژوهش ۱۱

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ ادبیات نظری پژوهش ۱۳

۲-۲-۱ سیستمهای تولیدی کارگاهی (Job Shop) ۱۳

۲-۲-۲ سیستمهای تولید منعطف (انعطاف پذیر) (FMS) ۱۴

۲-۲-۳ عدم قطعیت و اختلال ۱۵

۲-۲-۴ عوامل زمانبندی مجدد ۱۵

۲-۳ پیشینه پژوهش ۱۷

۲-۳-۱ زمانبندی مجدد ۱۷

۲-۳-۲ معیارهای عملکرد ۲۶

۲-۴ جمع بندی ۳۰

فصل سوم: الگوسازی و روش پژوهش ۳۵

۳-۱ مقدمه ۳۶

۳-۲ جامعه آماری ۳۶
۳-۳ نمونه آماری ۳۷
۳-۳ روش تحقیق ۳۸
۳-۳-۱ شرح مسئله ۳۸
۳-۳-۲ زمان‌بندی مبتنی بر حداقل کردن طول زمانبندی با استفاده از FBS ۳۹
۳-۳-۳ مثال‌های نمایشی ۴۶

فصل چهارم: برآورد الگو و تجزیه و تحلیل داده ها ۵۳

۴-۱ مقدمه ۵۴
۴-۲ طراحی آزمون ۵۴
۴-۲-۱ معیارهای تجربی ۵۴
۴-۲-۲ ابعاد آزمایش‌ها ۵۵
۴-۲-۳ معیارهای عملکرد ۵۶
۴-۳ یافته های پژوهش ۵۷
۴-۴ تفسیر نتایج ۵۹
۴-۵ اعتبارسنجی ۶۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۳

۵-۱ مقدمه ۶۴
۵-۲ مروری بر فصلهای پیشین ۶۴
۵-۳ نتایج کلی ۶۶
۵-۴ پاسخ به سوالات پژوهش ۶۶
5-5 پیشنهادات ۶۸
۵-۵-۱ پیشنهادات برای سایر محققین ۶۸
۵-۵-۲ پیشنهادات برای مدیران ۶۹
۵-۶ محدودیت ها ۷۰

منابع ۷۲

ضمائم ۷۱

ضمیمه ۱ – نمودار OPCخط تولید دیگ بخار ۷۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ *مدل مفهومی فرایند زمانبندی مجدد* *8*

شکل ۲-۱ عوامل *زمانبندی مجدد* *۱۷*

شکل ۳-۱ *فرایند عملیات تولید دیگ بخار* ۳۸

شکل ۳-۲ *دیاگرام الگوریتم جستجوی پرتو* ۴۲

شکل ۳-۳ *نتیجه‌ی زمان‌بندی برای مسئله‌ی FMS با b=4 و f=3* ۴۸

شکل ۳-۴ *نمودار گانت بعد از زمانبندی مجدد در نمونه خرابی دستگاه ۴ در زمان t=۴* ۴۹

شکل ۳-۵ *نمودار گانت که بعد از زمان‌بندی مجدد در نمونه‌ی لغو سفارش ۱ در t= ۵* ۴۹

شکل ۳-۶ *نمودار گانت بعد از زمان‌بندی مجدد در نمونه‌ی دریافت سفارش ۲ در زمان t=۵* ۵۱

شکل ۳-۷ *نمودار گانت بعد از زمانبندی مجدد در نمونه‌ی دوباره کاری فعالیت ۲-۱ در زمان t=۶* ۵۱

شکل ۴-۱ *نمودار نتایج بازدهی زمانبندی های مجدد* ۵۸

شکل ۴-۲ *نمودار نتایج انحراف از زمانبندی اولیه برای زمانبندی های مجدد آزمونها* ۵۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱ *پیشینه تحقیق* ۳۴

جدول ۳-۱ زمان پردازش عملیات مثال نمایشی ۴۶

جدول ۳-۲ *مقدار F برای b و f متفاوت* ۴۷

جدول ۴-۱ *سناریوی اختلال* ۵۵

جدول ۰ *سطوح آزمایش* ۵۶

جدول ۴-۳ *متغیرهای زمانبندی اولیه* ۵۷

جدول ۴-۴ *نتایج بازدهی زمانبندی های مجدد* ۵۸

جدول ۴-۵ *نتایج انحراف از زمانبندی اولیه برای زمانبندی های مجدد آزمونها* ۵۸

فصل اول: کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

"مدیریت عملیات[1] " مدیریت ارائه خدمات و تولیدات است و هدف آن هماهنگ کردن کوشش ها و تلاشها و به‌کارگیری منابع و امکانات برای ارائه و حصول خدمات و تولیدات به بهترین وجه ممکن می‌باشد [1]. مدیریت عملیات از انقلاب صنعتی اروپا و همزمان با تولید انبوه در صنایع، اهمیت ویژه‌ای یافت. تا امروز هم با افزایش رقابت میان تولیدکنندگان محصولات صنعتی، نیاز به افزایش سرعت تولید، اهمیت مدیریت عملیات را حفظ کرده است.

یکی از مسائلی که در چارچوب مدیریت عملیات قرار میگیرد، بالانس خط تولید است، که می‌توان برنامه‌ریزی تولید را یکی از زیر مجموعه های این مبحث برشمرد. پژوهشگران کوشیده اند با برنامه‌ریزی عملیات موجود در صنایع، سرعت تولید را بالا ببرند. بسیاری از پژوهشگران در آغاز، به حل مسائل خطوط تولید تک محصولی پرداختند .اما در عالم واقع، ما با صنایعی روبرو می‌شویم که در یک خط تولید، چند محصول از یک نوع را میسازند، به طوریکه این محصولات اگرچه از یک فرایند مشترک حاصل می‌شوند، اما در اندازه و ظرفیت با یکدیگر متفاوت هستند. این تفاوت در اندازه و ظرفیت محصولات، موجب می‌شود زمان پردازش هر عملیات برای هر نوع از محصولات منحصر به فرد باشد. بنابراین پژوهشگران به سمت حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطوط تولید چند مدله رفتند. مشکل جدیدی که باید همزمان با برنامه‌ریزی عملیات در یک خط تولید چند مدله در عالم واقع، با آن روبرو شویم، شکل سفارشی خطوط تولید است. به عبارتی تولید کننده، با یک برنامه‌ریزی خطی ثابت مواجه نیست

[1] Production Management

و با رسیدن سفارش جدید، نیازمند برنامه ریزی مجدد برای خط تولید است. در این پژوهش تلاش ما این است که به یک جواب بهینه برای زمان‌بندی پویا در خط تولید چند مدله برسیم.

تحقیقاتی که در زمینه زمانبندی تولید کارگاهی انجام شده اند، معمولا برای حل مسائل کوچک قابل استفاده هستند و توانایی حل مسائل بزرگ و واقعی را که شامل محدودیت ها و عدم قطعیت های فراوان هستند، ندارند. بنابراین تلاشهای زیادی برای یافتن روشهای تقریبی که جوابهای قابل دستیابی اما با کیفیت نسبی را دارند، انجام شده است[۲] . مبنای کار در این روشهای تقریبی این گونه است که مجموعه‌ای از جوابهای ممکن، معرفی شده و سپس با استفاده از یک روش، بهترین جواب ممکن بدست می آید. اکثر مقالات منتشر شده در حوزه زمانبندی کارگاهی، پیرامون یافتن جواب بهینه نسبی با استفاده از روشهای تقریبی بوده اند. متدهای مورد استفاده در ادبیات این موضوع عمدتا شامل این روشها است: روش شاخه و کران[1] [3] ، روش‌های ابتکاری بر پایه قواعد اولویت[2] [4] ، روشهای فراابتکاری[3] [5] ، الگوریتم جستجوی ممنوع[4] [6] ، الگوریتم ژنتیک[5] [7] و رویه های جستجوی محلی[6] [8].

در زمانبندی کارگاهی، تفاوتهایی با سیستم خط تولید سری وجود دارد که عدم قطعیت مهم ترین عامل تفاوت می باشد. در سیستم خط تولید تعدادی محصول یکسان با ترتیب مشخص به صورت انبوه تولید می شود، در این سیستم نیاز به سفارش وجود ندارد، و محصولات تولید شده برای پاسخ به نیازهای آتی در انبار ذخیره می شوند .حال آنکه در سیستم کارگاهی، شکل تولید، سفارشی و محصول، حالت پروژه ای دارد. عدم قطعیت در برخی مقالات به تقاضا، ماهیت محصول، محیط کارگاه تقسیم بندی شده است و بر اساس این عوامل، محدودیتهایی در حل مسئله تعریف شده، و با وجود آنها مسئله حل شده است [۹].

[1] Bound and beam
[2] Dispatching Rules
[3] Metaheuristic
[4] Taboo search
[5] Genetic Algorithm
[6] Local search

آنچه تا اینجا گفته شد، مربوط به زمانبندی خط تولید بود، در طول اجرای زمانبندی، عدم قطعیت در سیستم، موجب بروز اختلالات و وقفه هایی در برنامه می‌شود که نیاز به بروزرسانی زمانبندی خواهد بود، لذا در این مرحله باید یک زمانبندی ناقص را با محدودیتهای واقعی در سیستم، بروزرسانی کرد.

۱-۲ بیان مسئله پژوهش

مسأله زمانبندی عملیات، عبارت است از تعیین یک توالی زمانی یا برنامه زمانبندی، جهت اجرای مجموعه‌ای از فعالیتها، که نهایتا به تولید محصول یا اجرای یک پروژه منتج می‌شوند. به خاطر طبیعت پویا و انعطاف‌پذیر سیستم های تولیدی، و گستره وسیع تغییرات پیش بینی نشده و اختلالات، زمانبندی تولید بر اثر وقوع اتفاقات پیش بینی نشده، باید بروزرسانی شود. فرایند زمانبندی مجدد، مشخص می‌کند کی و چطور باید به اختلالات واکنش نشان داد، تا زمانبندی واقعیتر اتفاق بیفتد. برای رسیدن به این هدف، مطالعات وسیعی پیرامون ادبیات این تحقیق شده است که در فصل دوم آمده است.

اختلالات زیادی در سیستمهای تولیدی وجود دارند که زمانبندی های اولیه را دچار اخلال میکنند. برای مثال خرابی دستگاهها، یا رسیدن سفارش تازه به خط تولید و یا لغو یکی از سفارشهای موجود در خط تولید را می‌توان نمونه هایی از این نوع اختلالات نام برد.

با توجه به این اختلالات، برای حل این مسئله توابع هدف زیادی موجود است، حداقل کردن زمان تولید، بیشینه کردن ارزش فعلی خالص به خصوص در پروژه ها، حداقل سازی پراکندگی مصرف منابع، و حداکثرسازی شاخص‌های کیفی از جمله توابع هدفی هستند که می‌توان در راستای رسیدن به آنها مسئله را حل کرد.

در این پژوهش می کوشیم یک سیستم تولیدی را، که یک یا تعداد بیشتری از فعالیتهایش باید دوباره تکرار شوند، مجددا زمانبندی کنیم و لذا مسئله ما اینست که زمانبندی مجدد را در خط تولید

مخازن تحت فشار بررسی کنیم و مغایرتهای آن را بیابیم. پس از حل مسئله زمانبندی مجدد سیستم، تاثیرات اختلال دوباره کاری را بر زمانبندی تولید بررسی نماییم.

۱-۳ اهمیت و ضرورت مسأله پژوهش

با تطبیق شرایط نظری حل مسائل زمانبندی، با سیستمهای واقعی، مجموعه محدودیتهایی در حل مسئله ایجاد می شود که باید با رعایت آنها مسئله را حل کرد .محدودیتهایی که در سیستم واقعی با آنها مواجه هستیم، شامل عدم قطعیت، تغییر در برنامه و اولویت ها، شکل تولید – از جمله تولید انبوه یا سفارشی و کارگاهی – و محدودیت منابع می باشد.

به طور خلاصه اعمال شرایط واقعی سیستم تولیدی، برای قابل اجرا بودن زمانبندی که به صورت نظری مدلسازی و حل می‌شوند، ضرورت انجام این تحقیق محسوب می‌شود و پژوهشگران در این موضوع، پیوسته، به دنبال نزدیک کردن شرایط نظری به محیط واقعی سیستم تولیدی هستند .

۱-۴ بیان نوآوری پژوهش

پیش از این، اختلالاتی از جمله رسیدن سفارش جدید، لغو سفارش قبلی و یا توقف کار دستگاه، برای حل مسئله زمانبندی مدلسازی و بررسی شده اند. در این پژوهش می‌خواهیم با استفاده از متد FBS، به تاثیر مشکلات کیفیت و دوباره کاری، در حل مسئله زمانبندی مجدد بپردازیم.

۱-۵ سوالات پژوهش

در این پژوهش به دنبال پاسخ به سوالات زیر هستیم:

- اختلال دوباره کاری چه تاثیری بر برنامه زمانبندی خواهد گذاشت؟
- مسأله زمانبندی مجدد در یک خط تولید چند مدله با توابع هدف مختلف چه تاثیر متفاوت خواهد داشت؟

- چه متغیرهایی بر زمانبندی مجدد در اثر اختلال زمانبندی مجدد تاثیرگذارند؟
- تاثیر متغیرهای موثر بر زمانبندی مجدد، چگونه است؟

۱-۶ روش پژوهش

همان طور که ذکر شد در این پژوهش پس از شناسایی عوامل و متغیرهای تأثیرگذار در مسأله زمانبندی مجدد، سناریوی اختلال زمانبندی، در اثر دوباره‌کاری و مشکلات کیفیت مدلسازی شده و سعی خواهد شد با استفاده از متد تعدیل شده FBS الگویی ارائه گردد که زمانبندی جدید مطابق تابع هدف مشخص شده، تولید شود، سپس به تحلیل و مقایسه جوابهای متعدد بدست آمده خواهیم پرداخت.

۱-۷ قلمرو پژوهش

موضوع اصلی این پژوهش که تحت عنوان زمانبندی مجدد آمده است، ذیل عنوان زمانبندی در برنامه‌ریزی تولید قرار می‌گیرد. لذا قلمرو موضوعی این پژوهش، در حوزه برنامه ریزی تولید و مدیریت عملیات واقع شده است. در این پژوهش، سیستم های تولیدی چند مدله جهت زمانبندی در نظر گرفته شده اند، با فرضیات و محدودیتهایی که برای این سیستم تولیدی تعریف شده، این سیستم، ذیل عنوان سیستم های تولیدی انعطاف پذیر (FMS) قرار می‌گیرند. بنابراین، قلمرو مکانی این تحقیق را می‌توان سیستم های تولیدی انعطاف پذیر تعریف کرد.

۱-۸ مفروضات پژوهش

فرضیاتی که برای حل مسئله زمانبندی، در نظر گرفته شده‌اند، شامل موارد ذیل می‌شوند:

- سیستم خط تولید چندمدله بنا به تعاریف، خصوصیات یک سیستم جاب شاپ را داراست و یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر (FMS) محسوب می‌شود.

- هیچیک از سفارشهایی که وارد خط تولید می‌شوند، به یکدیگر وابسته نیستند (بدان معنا که اجرای یکی، مستلزم اجرای قبلی باشد)
- هیچ فعالیتی نمی تواند در آن واحد، در بیش از یک ماشین، پردازش شود.
- هیچ ماشینی نمی تواند در آن واحد، بیش از یک فعالیت را انجام دهد.
- همه ماشین آلات مستقل از دیگری هستند، و در زمان آغاز (t=0) در دسترس هستند.
- زمان راه اندازی ماشین آلات و تامین مواد اولیه، در نظر گرفته نشده اند.
- سفارشها مستقل از دیگری است و می توانند در هر زمانی اجرا شوند.
- زمان پردازش در طول افق زمانبندی ثابت و قطعی است.
- هریک از فعالیتها اگرچه از نظر توالی وابسته به فعالیت های دیگر هستند، اما در صورت بروز اختلال دوباره کاری، تنها همان عملیات تکرار می شود.

۱-۹ ساختار پژوهش

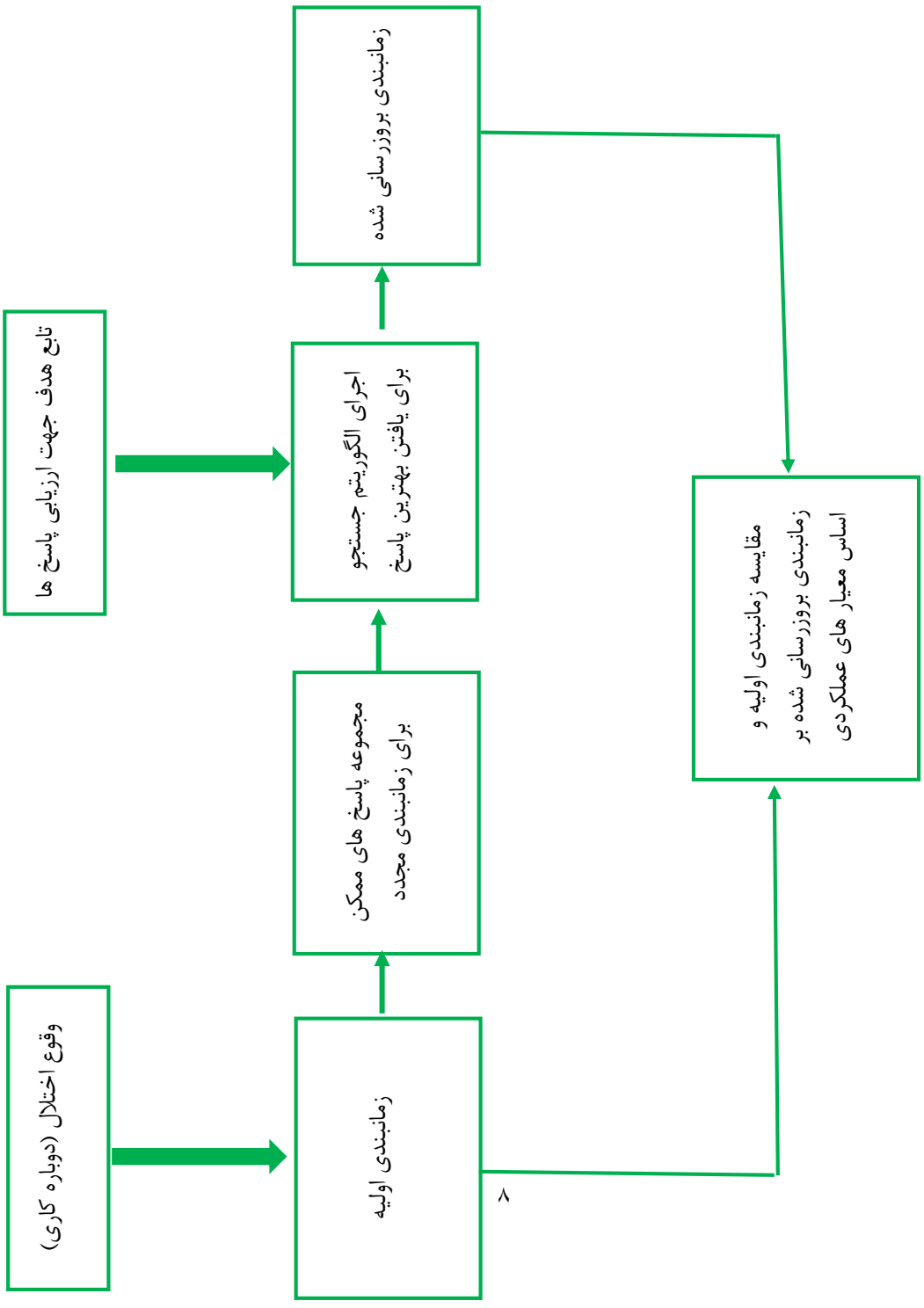
در فصل اول از این پژوهش، کلیتی پیرامون جایگاه مسئله زمان‌بندی در مدیریت عملیات ارائه می‌شود. در فصل دوم که مربوط به ادبیات نظری و پیشینه زمانبندی مجدد است، ابتدا اجمالا سیستم تولیدی انعطاف پذیر و عدم قطعیت و عوامل زمانبندی مجدد تشریح شد، و در ادامه پیشینه‌ای در مورد متدهای زمانبندی مجدد ارائه شده و سپس توضیحاتی پیرامون معیارها و شاخصهای تعریف شده برای بررسی و مقایسه زمانبندی که در ادبیات موضوع زمانبندی آمده است، داده می‌شود.

فصل سوم با عنوان الگوسازی و روش پژوهش، اختصاص به متغیرهای استفاده شده در پژوهش دارد. در این بخش به معرفی و توضیح الگوریتم جستجوی پرتو تصفیه شده و کاربرد آن در حل این مسأله می‌پردازیم. در نهایت آزمونی که برای بررسی نتایج در مقیاس بزرگتر طراحی می‌شود. در فصل

چهارم، آزمونی که طراحی شد را با برنامه کامپیوتری اجرا نموده و مجموعه پاسخهای بدست آمده را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهیم. در پایان نتایج بدست آمده را در فصل پایانی ارائه می دهیم.

۱-۱۰ مدل مفهومی

برای درک بهتر فرایندی که در این پژوهش طی می‌شود، مدل مفهومی زیر نمایش داده شده است:



شکل ۱ - ۱ مدل مفهومی فرایند زمانبندی مجدد

۱-۱۱ تعریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی

زمانبندی تولید[1] : زمانبندی، یک فرآیند تصمیمگیری کمی است که برای تخصیص منابع به فعالیتها (tasks) در طول زمان، به منظور بهینه کردن یک یا چند هدف، تحت محدودیتهای موجود درسیستم، انجام می‌شود[10] .

زمانبندی مجدد[2] : به فرایند به‌روزرسانی زمانبندی تولید موجود، چنانچه وقفه یا تغییر در فعالیتها، اتفاق بیفتد، گفته می‌شود [11] .

محیط پویا[3] : به محیطی که پیوسته تحت تغییر در اثر عوامل پیش بینی نشده باشد، محیط پویا گفته می‌شود.

برنامه ریزی پویا[4] : در علوم رایانه و ریاضیات، برنامه ریزی پویا روشی کارآمد برای حل مسائل جستجو و بهینه‌سازی با استفاده از دو خصیصه‌ی زیرمسئله‌های همپوشان و زیرساخت‌های بهینه است. برخلاف برنامه‌ریزی خطی، چارچوب استانداردی برای فرموله کردن مسائل برنامه‌ریزی پویا وجود ندارد .در واقع، آنچه برنامه‌ریزی پویا انجام می‌دهد، ارائه روش برخورد کلی جهت حل این نوع مسائل است. در هر مورد، باید معادلات و روابط ریاضی مخصوصی که با شرایط آن مسئله تطبیق دارد نوشته شود.

خط تولید چند مدله[5]: در مقابل خط تولید تک مدله به خط تولیدی که یک نوع از محصول را با ابعاد و ظرفیت مختلف تولید می کند، گفته می شود. مراحل و مجموعه فعالیت ها برای تولید این محصولات شبیه هم است اما زمان پردازش هر فعالیت برای ظرفیت های مختلف از هر محصول متفاوت است.

[1] Production scheduling
[2] Rescheduling
[3] Dynamic environment
[4] Dynamic planning
[5] Mixed-model product line

زمان تکمیل[1]: اختلاف زمانی میان شروع اولین عملیات تا پایان آخرین عملیات، از یک مجموعه از سفارشات است [10] . در این پژوهش از زمان تکمیل، به عنوان *مدت زمان تکمیل همه سفارشهای موجود در زمانبندی* یاد شده است.

سفارش[2]: به یک محصول متشکل از تعدادی عملیات[3] مشخص، که باید یک نظم خاص را طی کنند، گفته می‌شود [10].

زمان پردازش[4] : زمان مورد نیاز برای اجرای هر عملیات، زمان پردازش نامیده می‌شود.

[1] Makespan
[2] Job
[3] Operation
[4] Process Time

فصل دوم: چارچوب نظری و پیشینه پژوهش

۱-۱ مقدمه

شرکتها برای باقی ماندن و موفقیت در فضای تولید رقابتی امروز، باید به تغییرات در بازار به سرعت واکنش نشان بدهند، و توانمندی تولید محصولات متنوع مطابق با سفارش مشتری، از طریق انعطاف پذیری در خط تولید را داشته باشند. اگرچه، این توانمندی باید به صورت موثری استفاده شود که قوانین زمانبندی را در جهت بیشترین سود با کمترین هزینه عملیاتی محقق کند. پویایی در یک سیستم تولیدی، مدیریت و کنترل آن را، مشکل می‌کند. در این گونه سیستمها، به خاطر نفس پویای سیستم، اختلالاتی به صورت غیرقابل پیش بینی رخ می دهد، این اختلالات می‌تواند داخلی باشد مثل خرابی ماشین آلات، و یا اختلالات از منبع خارج از سیستم باشد، مثل سفارشات فوری[۱] و مشکلات تامین کننده[۲].

زمانبندی، یک عملیات ضروری در رساندن به موقع کار و تولید با هزینه معقول و منطقی است. حذف طبیعت پویا و رویدادهای اتفاقی[۳]، خلاء اساسی میان تئوری و عمل، در زمانبندی بوجود می آورد. چنانچه یکبار زمانبندی اولیه دچار اختلال شود، باید با زمانبندی مجدد، فعالیتها برای رفع ملاحظات جدید، بروزرسانی شود. از کار افتادن ماشین آلات، رسیدن سفارش جدید، کنسل شدن سفارش، تغییرات در موعد تحویل[۴]، تغییر اولویتها، مشکلات دوباره کاری و کیفیت، و غیبت اپراتور، برخی از اختلالاتی هستند که ممکن است در زمانبندی تولید رخ بدهند [12].

زمانبندی مجدد[۵]، به یافتن زمانبندی جدید، هنگام بروز اغتشاش در زمانبندی اولیه در حال اجرا، اطلاق می شود. دو عامل مهم که باید در زمانبندی مجدد در نظر گرفته شوند، این است که "در چه زمانی" و "چطور" در برابر این اختلالات واکنش نشان دهیم. سه سیاست در یافتن زمان مناسب برای واکنش به اختلال در زمانبندی، وجود دارد: زمانبندی مجدد در صورت وقوع اختلال (رویداد

[1] Rush Order
[2] Supplier problems
[3] Stochastic events
[4] Due date
[5] Rescheduling

محور)[1]، زمانبندی مجدد دوره ای[2] و زمانبندی مجدد ترکیبی[3]. به علاوه، سه متد برای پاسخ موثر به اختلالات استفاده می شود: زمانبندی مجدد با شیفت دادن عملیات باقیمانده به سمت راست[4] ، زمانبندی مجدد جزئی[5] (اصلاح زمانبندی)، زمانبندی مجدد جامع[6] [11]. یافتن یک متد و سیاست مناسب برای مواجهه با اختلال موجب جلوگیری از ناپایداری[7] در سیستم و کاهش هزینه های عملیاتی می‌شود.

۲-۲ ادبیات نظری پژوهش

۲-۲-۱ سیستمهای تولیدی کارگاهی (Job Shop)

مجموعه ای از ماشین آلات با کاربری عمومی قرار داده شده‌اند که هرکدام در یک دپارتمان خاص فعالیت میکنند. مثلا هر یک از ماشین آلات در یک دپارتمان قرار دارند، دستگاه دریل در یک دپارتمان، دستگاه چاپ در یک دپارتمان و دیگران در دپارتمان دیگر. سفارشها (Jobs) هر کدام از یک دپارتمان به دپارتمان دیگر منتقل می شوند و هریک از ماشین آلات، بسته به آن کار میتوانند تنظیم شوند.

در این روش نیروی انسانی، چندان تخصصی نیست و می‌تواند فعالیتهای مختلف عمومی را انجام دهد. مواد برگشتی زیاد هستند، زمان بیکاری[8] دستگاه زیادی برای تنظیم مجدد مصرف می شود، هزینه تولید بالا و نرخ تولید پایین است. اما از آنجا که در هر بخش، می‌توان بازرسی و توجه روی قطعات تولید شده، انجام داد و در صورت لزوم تعمیر نمود، کیفیت محصولات بالاست[13]

[1] Event driven Rescheduling
[2] Periodic Rescheduling
[3] Hybrid Rescheduling
[4] Right shift rescheduling
[5] Partial Rescheduling
[6] Total Rescheduling
[7] Nervousness
[8] Downtime

سیستم تولید جاب شاپ مجموعه ای از n سفارش[1] محدود است، که هریک شامل زنجیره ای از فعالیتها[2] می‌شوند. مجموعه ای از m دستگاه هم برای پردازش این محصول موجود است. برای مدلسازی و حل مساله مجموعه ای از مفروضات ریاضی باید لحاظ شود که در فصل سوم به آن اشاره شده است.

۲-۲-۲ سیستمهای تولید منعطف (انعطاف پذیر) (FMS)

یک سیستم تولید انعطاف پذیر(FMS)، سیستم یکپارچه واحدی از ماشین آلات (معمولا ماشین آلات CNC) است که به سیستم کامپیوتری انبارش و توزیع مواد اولیه برای فرایند تصادفی بسته بندی اتوماتیک مجهز شده است. یک FMS شکلی از سیستم جاب شاپ[3] است که در آن ماشین آلات قادر به اجرای عملیات مختلفی بر اساس ابزارآلات تخصیص یافته اند. در این سیستم، ایستگاهها با یک سیستم اتوماتیک اداره مواد اولیه، به هم مرتبط هستند، چون سفارشها، مسیرهای متفاوتی دارند و ممکن است در هرشکلی از توالی عملیات قرار داده شوند. زمان پردازش هر عملیات در هر ماشین بسته به ابزارآلات نصب شده و مشخصات ماشین ممکن است متفاوت باشد.

انعطاف پذیری[4]، مشخصه ای است که نشان میدهد یک سیستم تولیدی، توانایی ساخت گستره متنوعی از تغییرات در مدلهای متفاوت از یک محصول را بدون تعلیق در خط تولید، داراست. استفاده از این ویژگی در سیستم، موجب عملکرد بالای ماشین آلات و کاهش زمان تکمیل عملیات[5] و زمان انبارداری و زمان تغییر ابزار می شود.

[1] Job
[2] Operation
[3] Job shop
[4] Flexibility
[5] Lead-Time

۲-۲-۳ عدم قطعیت[۱] و اختلال[۲]

عملیات تولید به ناچار با گستره وسیعی از عدم قطعیت و تفاوت در فرایند ساخت، روبروست. شرکتها باید بتوانند این موارد را پیش از وقوع، مدیریت کنند یا پس از وقوع، واکنش مناسب نشان دهند. عدم قطعیت یا اتفاقات پیشبینی نشده، ممکن است وضعیت سیستم را تغییر دهد و برعملکرد آن تاثیر بگذارد. زمانبندی تولید، یک ابزار مهم و تعیین کننده، برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه های تولید محسوب می‌شود که پیوسته با اختلالاتی در طول اجرا، مواجه می شود. چنانچه این اختلالات، موجب بدتر شدن وضعیت زمانبندی شود، سیستم برای کاهش تاثیرات، نیاز به واکنش دارد.

۲-۲-۴ عوامل زمانبندی مجدد[۳]

ماشین آلات ممکن است به دلایل مختلفی مانند خرابی، فرسودگی، و تعویض ابزار یا قطعات، در طول عملیات، از کار بیفتند. سفارشات جدید ممکن است وارد سیستم تولید شوند و یا سفارشهای پیشین، به دلیل تغییرات مورد نظر مشتری، لغو شوند. همه این اتفاقات که عوامل زمانبندی مجدد نامیده می‌شوند، بر عملکرد زمانبندی موجود تاثیر می‌گذارند و نیاز به پاسخ فوری دارند.

ویرا و همکارانش [11] مجموعه ای از عوامل زمانبندی در ادبیات تحقیق را گردآوری کردند که شایعترین آنها شامل موارد زیر می‌شوند:

- توقف کار ماشین آلات[۴]
- رسیدن سفارش فوری[۵]
- لغو سفارش[۶]
- تغییر در موعد تحویل سفارش[۷]

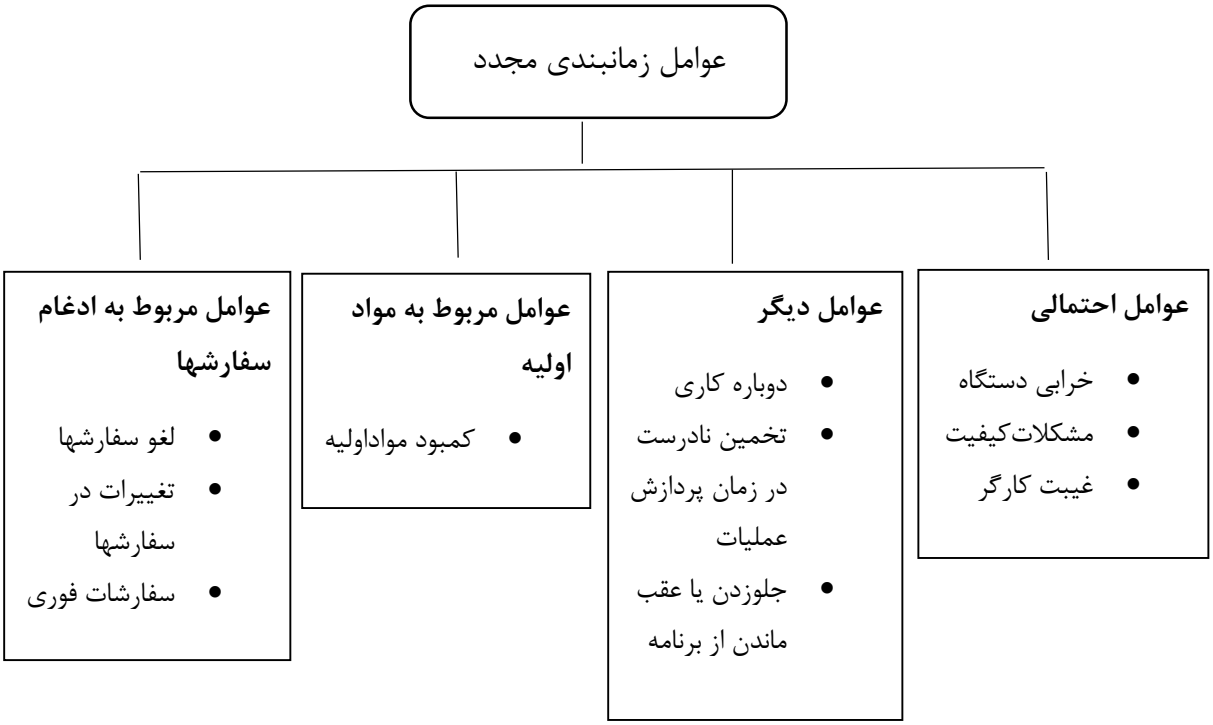
[1] Uncertainty
[2] Disruption
[3] Factors of rescheduling
[4] Machine Failure or Machine Breakdown
[5] Urgent Job Arrival
[6] Job Cancellation
[7] Due Date Change

- کمبود مواد اولیه یا تاخیر در رسیدن مواد اولیه[۱]
- تغییرات در اولویت سفارشها[۲]
- دوباره کاری یا مشکلات کیفیت[۳]
- تخمین نادرست در زمان پردازش عملیات[۴]
- غیبت اپراتور[۵]
- اضافه کاری[۶]
- اجرای کار در حین انعقاد قرارداد[۷]
- تغییرات در فرایند تولید محصول[۸]
- تعویض دستگاه[۹]
- محدودیت نیروی انسانی[۱۰]
- زمان تنظیمات دستگاه[۱۱]
- تخلیه تجهیزات[۱۲]

ناصری علاوه بر موارد بالا، عواملی مانند برونسپاری[۱۳]، و زمان تعمیرات و نگهداری[۱۴] را هم آورده است [12].

هوانگ[۱۵] و همکارانش، تعدادی از این عوامل زمانبندی مجدد را مطابق چارت ذیل دسته بندی کردند[14] :

[1] Delay in the arrival or shortage of materials
[2] Change in job priority
[3] Rework or Quality Problems
[4] Over or underestimation of process time
[5] Operator absenteeism
[6] overtime
[7] In-process subcontracting
[8] Process change or re-routing-
[9] Machine substitution
[10] Limited Manpower
[11] Setup Times
[12] Equipment Release
[13] Outsourcing
[14] Maintenance of Machine
[15] Huang



شکل ۲ - ۱ عوامل زمانبندی مجدد

۲-۳ پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش در موضوع زمانبندی مجدد می تواند در دو محدوده اصلی، دسته بندی شود: (الف) متدها و استراتژیهای زمانبندی مجدد و (ب) انتخاب یک شاخص عملکرد برای تولید و ارزیابی زمانبندیهای جدید (یا بروزشده). مرور ادبیات متدها و سیاستهای زمانبندی مجدد و همینطور شاخصهای عملکرد مورد استفاده در زمانبندی مجدد در بخشهای آینده مورد بحث قرار گرفته است.

۲-۳-۱ زمانبندی مجدد

زمانبندی مجدد، به فرایند به روزرسانی زمانبندی موجود، در پاسخ به اختلالات و تغییراتی که در سیستم، رخ داده است، اطلاق می شود[11] . هنگام زمانبندی، دو عامل ضروری باید در نظر گرفته

شوند؛ اول، زمانی که باید برای زمانبندی مجدد اقدام کرد. پس از آنکه در مورد زمان به‌روزرسانی تصمیمگیری شد، دومین عامل، چگونگی زمانبندی مجدد است.

با توجه به تصمیم‌گیری با محوریت زمان، مطالعات گذشته، سه سیاست زمانبندی مجدد رویدادمحور[1]، زمانبندی مجدد به صورت دوره ای[2]، و زمانبندی مجدد ترکیبی[3] را برای زمان مناسب واکنش در نظر می‌گیرند. زمانبندی دوره‌ای براساس یک بازه زمانی ثابت یا متغیر، صورت می‌گیرد. بر اساس این سیاست، زمانبندی به صورت منظم تحت نظارت قرار می‌گیرد و در ابتدای هر دوره، برای کاهش اثرات منفی و اختلالات، زمانبندی مجدد رخ میدهد[15] . صابونچوغلو[4] و کربوک[5][16] روش تازه ای به نام زمانبندی تطبیقی معرفی کردند که، زمانبندی مجدد پس از انحراف عملیات از زمانبندی اولیه به مقداری مشخص، انجام می‌شود. نویسندگان این مقاله نشان دادند که به‌روزرسانی متناوب برنامه زمانبندی، اثرات منفی بیشتری از بکارگیری قواعد اولویت دارند. در *زمانبندی رویدادمحور*، برنامه موجود، هر زمانی که اختلال اتفاق افتاد، به روزرسانی می‌شود. سابرامانیام[6] و همکارانش[17] ، روشی برای اصلاح زمانبندی وقتیکه چند اختلال همزمان رخ میدهد.، ابداع کردند. نویسندگان این مقاله تصریح کردند که زمانبندی مجدد سیستم به هنگام وقوع هر اختلال، راه حل مناسبی برای سیستم های جاب‌شاپ است. *زمانبندی مجدد ترکیبی*، به مدلی از تصمیمگیری برای به‌روزرسانی اشاره می کند که نه فقط در هر دوره زمانی، بلکه در زمان وقوع هر رویداد هم، باید به‌روزرسانی شود[19] [18] .

عبارت *چگونگی زمانبندی*[7] با روشهایی که زمانبندی به‌روزرسانی می‌شوند، سر و کار دارد. زمانبندی ممکن است آنلاین[8] یا آفلاین[9] صورت بگیرد [12]. صابونچوغلو و گورن[20] ، این موضوع را به عنوان پروژه جدیدی مطرح کردند، ویرا و همکاران [11] هم، آن را استراتژی زمانبندی مجدد[10] نامگذاری کردند. در زمانبندی آفلاین دو گام اساسی وجود دارد: اول، همه عملیات برای تمام سفارشها

[1] Event-driven
[2] Periodic
[3] Hybrid
[4] Sabouncuoglu
[5] Karabuk
[6] Subramaniam
[7] How to schedule
[8] Online
[9] Offline
[10] Rescheduling Strategy

را، پیش از اجرا، در محدوده زمانی مورد نظر، زمانبندی می‌کنیم. و دوم، زمانبندی در پاسخ به اختلالات به‌روزرسانی می‌شوند. در زمانبندی آنلاین، برنامه زمانبندی تولید نمی‌شود و تصمیمات یکبار، در هنگام اجرا گرفته می‌شوند. زمانبندی آنلاین، نیاز به آگاهی از وضعیت لحظه‌ای سیستم دارد. این اطلاعات با قانون تصمیمگیری در مورد تعیین عملیات بعدی، برای زمانبندی ترکیب می‌شود [12]. قواعد اولویت یا تئوری کنترل[1]، مثالهایی از زمانبندی آنلاین هستند. صابونچوغلو و کربوک [16] نشان دادند که در محیطهای ایستا و پویا، زمانبندی آفلاین، بهتر از زمانبندی آنلاین عمل می کند، چرا که زمانبندی آنلاین، نگاه کلی را که در زمانبندی آفلاین در نظر گرفته می‌شود، ندارد. هرچند، برای مقایسه شاخص عملکرد در زمانبندی آنلاین با آفلاین در محیط پویا و تصادفی به مطالعات بیشتری نیاز است.

مسئله دیگر در *چگونگی زمانبندی* به متد تولید زمانبندی، اشاره دارد. مطالعات موجود بر اساس شاخص عملکرد از یکی از سه متدولوژی اصلی زمانبندی مجدد، استفاده کردند: (۱) زمانبندی مجدد جامع[2] (TR) (۲)زمانبندی مجدد Right-shift[3] (RSR) ، (۳)زمانبندی مجدد جزیی[4] (اصلاحی). رویکرد زمانبندی مجدد جامع، کل برنامه زمانبندی را، برای همه عملیات باقیمانده، با توابع هدف، متدها و الگوهای مختلف، بازتولید می‌کند[21] . در جبهه مقابل، RSR برای پوشش تاثیرات منفی تغییرات و اختلالات، برنامه را با شیفت دادن زمانی همه عملیات باقیمانده به سمت راست، به‌روزرسانی می‌کند [22]. میان این دو کرانه، روش اصلاح جزئی برای زمانبندی بخشی از عملیات که باقیمانده، معرفی شده است[24] [23] . جزئیات بیشتر در مورد ادبیات و متدهای زمانبندی مجدد در بخش های بعدی آمده است.

مجموعه ای از شاخصهای عملکرد، برای مطالعات زمانبندی مجدد استفاده شده است. این شاخصها را می توان در چهار گروه دسته بندی کرد: بازده[5] زمانبندی، پایداری[6] زمانبندی ، استحکام[7] و

[1] Control Theory
[2] Total Rescheduling
[3] Right Shift Rescheduling
[4] Partial Rescheduling
[5] Efficiency
[6] Stability
[7] Robustness

هزینه[1] [12]. شاخصهای بازدهی معمولا به مقیاسهای زمان مربوطند، مثلا زمان تکمیل کل سفارشها[2] ،دیرکرد[3]، متوسط زمان جریان[4] وانحراف از موعد تحویل[5] [11].شاخص پایداری مربوط به تاثیر انحراف های زمانبندی جدید، از زمانبندی اصلی است، حال آنکه استحکام ، بر تفاوتها در اندازه های عملکرد مانند مقادیر تابع هدف، تمرکز دارد [20]. استفاده از هزینه به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری عملکرد، می تواند عملکرد اقتصادی یک سیستم تولیدی را نمایش دهد [12]. جزئیات بیشتر پیرامون شاخصهای عملکرد و ادبیات آن در بخش *معیارهای عملکرد* توضیح داده شده است.

۲-۳-۱-۱ زمانبندی مجدد جامع (TR)

زمانبندی مجدد جامع که در موارد بسیاری با عنوان زمانبندی مجدد در ادبیات تحقیق آمده است، اشاره به بازتولید برنامه های جدید برای همه عملیات باقیمانده ، با تابع هدف مشخص، دارد. هدف اصلی از این تحقیقات، یافتن پاسخی برای چگونگی تولید برنامه زمانبندی جدید، در حالت وقوع اختلال است. این تحقیقات را می توان به سه دیدگاه تقسیم کرد: حل مسئله زمانبندی با روشهای بهینه سازی برای آن مسئله خاص، قواعد اولویت، و رویکردهای ابتکاری با محوریت هوش مصنوعی[25] .

برنامه نویسی ریاضی، بخش عمده ای از روش بهینه سازی را در زمانبندی مجدد را شامل می‌شود[26] . مدلهای ریاضی مختلفی برای حل مسئله زمانبندی در محیط انعطاف پذیر، ابداع و استفاده شده اند. هان[6] و همکارانش[27] ، یک مدل برنامه ریزی غیرخطی[7] برای حل مسئله زمانبندی به هنگام[8]، ارائه کردند. هاتچیسون[9] و همکارانش[28] ، یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط، برای برای مسئله زمانبندی تصادفی در سیستم FMS ابداع کردند. کاموند[10] و همکارانش[29] ، یک مدل MILP برای زمانبندی ارائه کردند. این پژوهشگران، راه حلهایی برای بهینه سازی جواب مسائل متوسط و کوچک زمانبندی یافتند. اگرچه این روشها، جوابهای مطمئنی برای مسائل زمانبندی کوچک و متوسط

[1] Cost
[2] Makespan
[3] Tardiness
[4] Flow time
[5] Lateness
[6] Han
[7] Nonlinear integer programming
[8] Real-time
[9] Hutchison
[10] Caumond

ارائه می‌کنند، اما برای زمانبندی مقیاس بزرگ، به محاسبات کامپیوتری زیادی نیاز دارند. وانگ[1] و همکارانش[25] ، اشاره کردند که مسائل زمانبندی FMS، نوعی از مسائل NP-hard می‌باشد. در نتیجه، برای همیشه مقدور نیست که به سرعت، جواب بهینه‌ای برای مسئله، یافت. از این رو، روشهای بهینه‌سازی مشخص، معمولا به عنوان ابزاری برای تحلیل و ارزیابی مسائل به کار می روند، و اساس توسعه الگوریتمهای ترکیبی محسوب می‌شوند.

قواعد اولویت (DR)، که به عنوان قوانین زمانبندی یا قوانین تقدم هم شناخته می‌شود، از اصلی‌ترین روشهای زمانبندی پویا است. بلک استون[2] و همکارانش[30] ، یک مدل برپایه قواعد اولویت برای انتخاب سفارش بعدی، از میان لیست سفارشهای در صف انتظار، تعریف کردند. این محققان، مدلهای برپایه قواعد اولویت را در ادبیات تحقیق این زمینه مقایسه کردند، و به این نتیجه رسیدند که تعریف یک مدل مشخص، برای استفاده در همه موارد یا همه‌ی محیطها، ممکن نیست. استک[3] و سالبرگ[4][31] ، مطالعات جامعی در مورد عملکرد مدلهای قواعد اولویت در محیط سیستمهای تولید انعطاف‌پذیر انجام دادند. ایشی[5] و تالاویج[6] [32]، یک مدل به هنگام زمانبندی ارائه دادند که به صورت پویا مدلهای برپایه قواعد اولویت را، که به تغییرات در سیستم، برای بازه‌های زمانی کوتاه پیش رو ، پاسخ می‌دهند، جمع آوری می‌کند. این محققان نتیجه گرفتند که تغییر قواعد اولویت، در بازه‌های زمانی کوتاه با توجه به وضعیت سیستم، نسبت به استفاده از تنها یک مدل از قواعد اولویت در زمان طولانی، نتیجه بهتری می‌دهد. کیم[7] و کیم[33] ، یک مدل زمانبندی ارائه کردند که در آن، مدلهای برپایه قواعد اولویت، با توجه به یک شاخص معین، به صورت پیوسته، بسته به بهترین جواب در هر مرحله تغییر می‌کنند. چان[8] و همکارانش[34] ، نشان دادند که تغییر پویای قواعد اولویت، در بازه‌های مناسب در طول زمانبندی پویا، عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد. مدلهای اولویت مختلف، در ادبیات تحقیق معرفی شدند، که می‌توانند نتایج سریعی بدهند، که کارآمدی آنها به شاخص عملکرد و شرایط

[1] Wang
[2] Blackstone
[3] Stecke
[4] Solberg
[5] Ishii
[6] Talavage
[7] Kim
[8] Chan

کار آنها بستگی دارد. به همین ترتیب، آنها می توانند به نتایج مناسبی با معیار عملکرد داده شده، برسند، اما در معیار دیگری نتایج ضعیفی به دست بدهند.

در سالیان اخیر، استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری هوش مصنوعی محور، (GA، SA، TS، BS، و ...)، برای حل مسئله زمانبندی/ زمانبندی مجدد، به طوریکه می‌توانند سریعا نزدیک ترین جوابها را به پاسخ بهینه، در سیستمهای به هنگام و پیچیده تولید کنند، مورد توجه قرار گرفتند [25]. برندیمارت[1] [35]، از الگوریتم جستجوی ممنوع[2] (TS) برای حل مسئله زمانبندی، با تابع هدف کمینه کردن مجموع وزنی پارامترهای *دیرکرد* و *زمان تکمیل سفارشها* استفاده کردند. دوزر-پرس و پاولی[36] ، راهبرد یکپارچه ای، با استفاده از الگوریتم TS بر ساختار همسایگی استفاده کردند. هانگ هونگ[3] و ژیمینگ[4] [37]، الگوریتم انطباقی ژنتیکی[5] (AGA) برای یافتن یک زمانبندی بهینه جدید در یک سیستم تولیدی منعطف بزرگ و پیچیده، به طوریکه وقفه ها را پاسخ دهد، معرفی کردند. الگوریتم مطرح شده، یک مدل از الگوریتم ژنتیک است که می‌تواند از انحرافات نابه‌هنگام جلوگیری کند. جین[6] و المراقی[7] [38]، یک الگوریتم ژنتیک برای حالت پایدار ارائه کردند. این نویسندگان از این روش برای تولید زمانبندی اولیه و بروزرسانی شده، استفاده کردند. نجیب و همکارانش [39]، یک روش شبیه سازی آنیلینگ[8] (SA) اصلاح شده را برای مسئله زمانبندی معرفی کردند. ژیا[9] و وو[10][40] ، یک راهبرد ترکیبی بهینه سازی را با استفاده از بهینه سازی ازدحام[11] و SA برای حل مسئله زمانبندی، استفاده کردند.

الگوریتم ابتکاری جستجوی پرتو تصفیه شده[12] (HFBS)، به عنوان یکی از بهترین متدهای جستجوی هوش مصنوعی محور، شناخته می شود. برای اولین بار *او*[13] و *مورتون*[14] [41]، متد FBS را به عنوان بسط و بهبود الگوریتم جستجوی پرتو (BS) معرفی کردند. دو عامل عملکرد قوی و سرعت

[1] Brandimarte
[2] Tabu Search Algorithm
[3] Hanghong
[4] Zhiming
[5] Adaptive Genetic Algorithm
[6] Jain
[7] Elmaraghy
[8] Annealing Simulation
[9] Xia
[10] Wu
[11] Swarm optimization
[12] Heuristic Filtered Beam Search
[13] Ow
[14] Morton

بالای جستجو، به عنوان عوامل کلیدی الگوریتمهای FBSمحور، در ادبیات تحقیق آمده است. *دی*[1] و *لی*[2] [42] ، یک استراتژی حل مسئله بر پایه الگوریتم FBS در محیط FMS ارائه کردند. *صابونچوغلو* و *کربوک* [43] ، یک الگوریتم ابتکاری بر پایه FBS برای زمانبندی ارائه کردند. این نویسندگان، از فضاهای محدود بافر[3]، و انعطاف در توالی بهره بردند و زمانبندیهایی برای یک بازه زمانی مشخص ارائه کردند. *وانگ* و همکارانش [25] ، یک الگوریتم HFBS را برای یافتن زمانبندی بهینه، با زمان پردازش منطقی تر، ارائه دادند. آنها، یک الگوریتم FBS برای حل زمانبندی مجدد پویا در یک محیط بزرگ و پیچیده که به اختلالات واقعی پاسخ میدهد، ارائه کردند. این محققان، مقایسه ای میان نتایج بدست آمده با نتایج *هونگهونگ* و *ژیمینگ*، انجام دادند و نتیجه گرفتند که زمانبندیهای مجدد حاصل از FBS هم در سرعت و هم در صحت، بهتر از الگوریتم تطبیقی ژنتیک هستند.

۲-۳-۱-۲ زمانبندی مجدد Right Shift

RSR اشاره به عمل به تاخیر انداختن همه زمانبندی به اندازه مدت اختلال در سیستم، دارد؛ به بیان دیگر، شیفت دادن عملیات باقیمانده به سمت راست در گانت چارت [23]. فرایند RSR اشاره به روش *هیچکاری نکن*[4]، دارد که بسیار ساده برای اجرا و مدلسازی است [20]. نویسندگان ۸ نوع اخلال و پاسخ مورد نیاز برای آن را در نظر گرفتند. آنها به این نتیجه رسیدند که RSR برای زمانبندی های دوره ای مناسب است. *ابومازیار* و *سوستسکا* [23]، سه روش زمانبندی مجدد (TR, RSR, repair) را مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که عملکرد RSR از دو روش دیگر از لحاظ پایداری و بازدهی بدتر است، و زمانبندی های به‌روزرسانی شده در روش RSR بیشترین انحراف از معیار را نسبت به زمانبندی اولیه دارند. آنها پیشنهاد کردند که از این روش، تنها در زمانی استفاده شود که اختلالات، همزمان با فرایند زمانبندی اولیه اتفاق می افتد. *سابرامانیام و رهاجا* [24]، عملکرد RSR و mAOR را با هم مقایسه کردند و نتیجه‌گیری کردند که در انواع مختلف اختلال، mAOR هم در معیار پایداری، و هم

[1] De
[2] Lee
[3] Buffer
[4] Do Nothing

در معیار بازدهی، بهتر از RSR بوده است. بنابراین نتایج ، RSR به تنهایی نمی تواند روش مناسبی برای زمانبندی تلقی شود و باید با روشهای دیگر ادغام شود تا نتایج منطقی بدست آید.

۲-۳-۱-۳ زمانبندی مجدد جزئی (Repai r)

زمانبندی مجدد جزئی، که در ادبیات تحقیق به عنوان اصلاح زمانبندی هم یاد شده است، اشاره به زمانبندی مجدد عملیاتی دارد که مستقیم یا غیر مستقیم، متاثر از اختلالات شده اند [11]. این شیوه، متمایل به حفظ پایداری زمانبندی و اجتناب از تغییرات غیرضروری است. اغلب متدهای ابتکاری که از راهبرد زمانبندی مجدد جزئی استفاده می کنند بر پایه زمانبندی عملیات متاثر از اختلال (AOR)، هستند. *بین*[1] و همکارانش[44] ، زمانبندی Match-up را، که شیوه دیگری از زمانبندی مجدد است، معرفی کردند.

آنها یک متدولوژی برمبنای Match-up برای اصلاح زمانبندیهایی که دچار اختلال شده اند، ارائه کردند. در این فرایند، تنها آن بخش از زمانبندی که از اختلال متاثر شده اند، برای تطبیق اختلالات با زمانبندی اصلی، مجددا زمانبندی می شود. *آکترک*[2] *و گرغلو*[3] [45]، یک الگوریتم اصلاحی دیگر بر اساس متد Match-up ارائه کردند که به اختلالات ناشی از خرابی ماشین آلات در سیستم فلوشاپ، برای زمانبندی مجدد جزئی، پاسخ می‌دهد. *صابونچوغلو و گورن* [20]، یک متد اصلاحی گسترده برای ۸ نوع از اختلالات ارائه کردند که زمانبندی مختل شده را با کمترین تغییرات، به‌روزرسانی می‌کند.

لی[4] و همکارانش[46] ، الگوریتمی ابتکاری را بر اساس درخت دوتایی[5]، و مفهوم تغییر شبکه‌ای[6] که ، جهت به‌روزرسانی زمانبندی از طریق تنها زمانبندی مجدد عملیاتهایی که نیاز به اصلاح دارند، ارایه کرده اند. ابومازیار و سوستسکا [23] الگوریتم شاخه ای باینری را بکار بردند تا الگوریتمی برای زمانبندی مدل جاب شاپ ارائه دهند که به آن زمانبندی مجدد عملیاتهای متاثر از اختلال (AOR)، نیز می گویند.

[1] Bean
[2] Akturk
[3] Gorgulu
[4] Li
[5] Binary Tree
[6] Net Change

آنها این شیوه را در جهت به حداقل رساندن نرخ رشد makespan و انحراف معیار از زمانبندی اولیه و غلبه بر کاستیهای زمانبندی جزیی، مطرح کردند. مولفان، AOR را برای تعمیر خرابی ماشین الات به کار بردند و کارآیی آن را با TR در سناریوهای متفاوتی مقایسه کردند. آنها نتیجه گرفتند که در مقایسه با TR ، AOR انحراف معیار و زمان پردازش را به طور قابل توجهی کم می کند اما از لحاظ Makespan ، TR اندکی بهتر عمل می کند. AOR توسط *میسون*[1] و همکارانش[47] ، برای زمانبندی مجدد توالی ثابت، در جهت مد نظر قرار دادن ماشینهای فرایند بسته بندی اصلاح شد. مولفان عملکرد زمانبندیهایی را که توسط RSR ، mAOR و TR، ارائه می شدند، برای عامل خرابی ماشین آلات، در محیط FMS با هم مقایسه کردند. *سابرامانیام و راهجا* [24]، مدل AOR را به کار گرفتند و آن را برای ۱۷ نوع متفاوت از توزیع، تعمیم دادند. عملکرد mAOR با عملکرد RSR در چهار نوع توزیع، با هم مقایسه شده اند: *خرابی ماشین آلات، رسیدن سفارش فوری، تفاوت در زمان پردازش، و فوریت سفارشهای وجود*. نتایج حاصله نشان می دهند که mAOR ،در مقایسه با RSR از لحاظ کارآیی و ثبات، بهتر عمل می‌کند. *سابرامانیام* و همکارانش، یک متدولوژی اصلاحی واکنشی برپایه mAOR برای اداره کردن اختلالات چندگانه‌ای که در زمانبندی رخ می دهد، ارائه کردند. مولفان پنج نوع اختلال را در نظر گرفتند: *خرابی ماشین، غیبت، زمان پردازش متفاوت، رسیدن سفارش غیرمنتظره، و کنسل شدن سفارش*. آنها آزمایشی را بر اساس سطوح متفاوت از شدت، بزرگی، و پراکندگی اختلالات ذکر شده برای بازدهی و پایداری در محیط جاب شاپ، اجرا کردند و شاخصهای عملکرد را با RSR مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که mAOR در مورد اختلالات چندگانه از RSR بهتر عمل می کند، اما بازدهی mAOR پس از اصلاحات چندباره وخیم‌تر می شود و روش اصلاحی برای زمانبندی برای پاسخ به اختلالات ایجاد شده، همیشه پیشنهاد نمی شود.

[1] Mason

۲-۳-۲ معیارهای عملکرد

چهار مدل از معیارهای عملکرد موجود در ادبیات تحقیق زمانبندی مجدد، معرفی شده است: معیارهای بازدهی، پایداری، استحکام، و هزینه زمانبندی.از این معیارها می توان به عنوان یک ابزار یا تابع هدف برای تولید زمانبندی یا به عنوان معیاری برای مقایسه عملکردها استفاده شود. در این بخش، این معیارها بررسی شده و پژوهشهای مرتبط ارائه شده اند.

۲-۳-۲-۱ معیار بازدهی زمانبندی

معیارهای بازدهی عمدتا برای تولید یک زمانبندی عملیات تولید، استفاده می شوند. آنها معمولا معیارهای زمان‌محور هستند[48] . اکثر مدلهای زمانبندی مجدد، یک تابع هدف مرتبط با زمان -مثل زمان تکمیل همه سفارشها و دیرکرد- را بهینه سازی می‌کنند، که همان هم، برای تولید زمانبندی اولیه استفاده می شود. مهمترین دلیل آنکه این دو معیار بسیار پرکاربرد بوده اند، اینست که خواسته های اولیه مشتریان را ارضا می‌کنند [12].

هویتومت[1] *و همکارانش*[49] ، از یک تابع هدف وزنی درجه دوم از دیرکرد[2] به عنوان شاخص، برای تولید زمانبندی بهره گرفتند. این تابع هدف، اهمیت موعد تحویل[3]، ارزش هر سفارش و این حقیقت را که هر سفارش پس از گذر از موعد تحویل، بحرانی تر میشود، را به خوبی نمایش می‌داد. در نظر گرفتن تابع درجه دوم وزنی، نسبت به مجموع وزنی، تاثیرات افزایش تاخیر را بهتر نشان میدهد. *هونگونگ و ژیمینگ* [37] *و همینطور وانگ و همکارانش* [25]، تابع درجه دو را در به وجود آوردن زمانبندیهای اولیه و بروزرسانی آنها استفاده کرده اند. آنها بیان کردند که این تابع هدف کاراتر از زمان تکمیل در محیط تولیدواقعی است. *ژیا و وو* [40]، *وانگ* و همکارانشان [25]، نوعی از تابع مجموع وزنی زمان تکمیل، مجموع بارگذاری کار[4] و عوامل بهره گیری[5] را جهت ایجاد زمانبندی، معرفی کرده‌اند. این

[1] Hoitomt
[2] Tardiness
[3] Due date
[4] WorkLoad
[5] Utilization factors

نویسندگان اظهار داشتند، از آنجایی که سرمایه‌گذاری و نصب تجهیزات مدرن، بسیار سرمایه بر است، نیاز مبرمی وجود دارد که بارگذاری کار و عوامل بهره گیری مد نظر قرار گیرند و آنها را در تولید زمانبندی، در نظر بگیریم.

ابومازیار و سوستکا [23]، *سابرامانیام و راهجا* [24]، *سابرامانیام و همکارانش* [17]، و *فهمی و همکارانش*[50] ، تغییرات درصدی را در زمانبندی بروزرسانی شده *زمان تکمیل همه سفارشها*، به کار گرفتند تا شاخص کارایی را جهت ارزیابی زمانبندی به‌روزرسانی شده‌شان تعریف کنند، در نتیجه فرایند زمانبندی مجدد کاراتر، آنیست که افزایش کمتری در زمان تکمیل داشته باشد.

۲-۳-۲-۲ اندازه گیری پایداری زمانبندی

زمانبندی پایدار، زمانبندی است که به میزان ناچیزی، از زمانبندی اصلی منحرف شده است. پایداری، جهت نشان دادن تاثیر تغییرات زمانبندی، اندازه گیری می شود و میتواند به دو روش تعریف شود: نقطه آغازین انحراف بین بروزرسانی و زمانبندی اولیه، و به عنوان اندازه گیری تفاوت توالی یا تسلسلها بین دو زمانبندی .[12]

ابومازیار و سوستکا [23]، شاخصی به نام زمان آغاز انحراف[1] (DevSt)، مطرح کردند و از آن برای ارزیابی پایداری زمانبندی‌های به‌روزرسانی شده، استفاده می‌کنند. *سابرامانیام و راهجا*[24] ، *سابرامانیام و همکاران*[17] ، *و فهمی و همکارانش*[50] ، معیاری برپایه انحرافات نرمال از زمان آغاز عملیات، نسبت به زمانبندی اصلی، مطرح کردند. *صابونچوغلو و گورن*[20] ، شش نوع متفاوت از شاخص پایداری، برای ارزیابی جنبه های گوناگون تاثیرات تغییرات زمانبندی، مطرح کرده‌اند. نویسندگان، زمان اتمام عملیات را با ارزیابی های ارائه شده، ادغام کردند.

سوتسکف و همکارانش[51] ، به مقوله پایداری از جنبه دیگر میپردازند، نویسندگان این مقاله تحلیلی ثانویه جهت اداره کردن پراکندگیها در محیط جاب شاپ استفاده می کنند. سعی آنها بر این

[1] Starting time Deviation

است که بیشترین انحراف را در فرایند زمان عملکرد، مشخص کنند تا زمانبندی موجود را در صورت پراکندگی، بهینه سازی کنند. آنها این حداکثر انحراف را، شعاع پایداری[1] نامیدند که می تواند از طریق تحلیل حساسیت بدست آید.

۲-۳-۲-۳ استحکام[2]

استحکام به عنوان عدم حساسیت اجرای زمانبندی به اختلالات، اطلاق می شود. همچنین استحکام می تواند به عنوان تفاوت در مقدار تابع هدف میان زمانبندی به‌روزشده و زمانبندی اصلی تعریف شود. زمانبندی مستحکم، واژه ایست که به زمانبندی که عملکرد آن در صورت اختلال، به طور قابل ملاحظه ای دچار خسارت نمی شود، گفته می شود [12].

لئون[3] *و همکارانش*[52] ، متوسط سکون سیستم[4] را به عنوان معیار جایگزین استفاده می‌کنند، تا تنزل عملکرد مورد انتظار را تخمین بزنند. آنها نشان دادند که متوسط سکون سیستم، به عنوان یک واحد ارزیابی استحکام، در موارد انحراف زمان پردازش، عملکرد مناسبی دارد. *دنیلز*[5] *و کوولیس*[6][53] ، نوعی از زمانبندی استحکام را برای سیستمهای تک ماشین[7]، در صورت وجود اختلاف زمان پردازش، ایجاد کردند تا اندازه گیری عملکرد را تحت بدترین شرایط ممکن، به حداقل برساند. آنها نشان دادند که زمانبندی‌ای که توسط معیار استحکام، ایجاد شده است نسبت به زمانبندی های بر پایه قواعد اولویت پیشین، بهتر عمل می کند. *گورن و صابونچوغلو*، دو ارزیابی جدید برای استحکام و پایداری طراحی کردند تا زمانبندی استحکام و پایداری را در محیط تک ماشینی، از طریق در نظر گرفتن سه معیار ارزیابی متفاوت تولید کنند. این سه معیار عبارتند از: makespan، دیرکردکلی[8] و یا زمان کل جریان[9].

[1] The stability radius
[2] Robustness
[3] Leon
[4] Average system Slag
[5] Daniels
[6] Kouvelis
[7] Single machine
[8] Total tardiness
[9] Total flow time

گان و ویرث، نوعی از رویکرد تجربی و ارزیابی آنتروپی را جهت توجیه زمان مورد نیاز، برای رفت و برگشت میان زمانبندیهای آنلاین، استحکام و قطبی تعریف کرده اند. *گورن و صابونچوغلو* [20]، شاخصهای استحکام را به دو گروه طبقه‌بندی کردند. شاخص‌ها در گروه اول بر اساس عملکرد واقعی زمانبندی به‌روزرسانی شده، است؛ حال آنکه در گروه دوم بر اساس خطاها است. نویسندگان ۷ نوع شاخص را برای طبقه بندی اول و ۴ نوع شاخص را برای طبقه‌بندی دوم، معرفی می‌کنند تا انحراف میان زمانبندی جدید و زمانبندی اولیه را از لحاظ قابلیت اجرایی به حداقل برساند.

۲-۳-۲-۴ هزینه

برای مدیران، مسائلی چون سودآوری کار و به حداقل رساندن هزینه های کلی، مهمتر از هرگونه ارزیابی براساس پایداری و زمان می باشد [48]. ارزیابی های پیشین در نشان دادن تاثیر اقتصادی اختلالات بر روی سیستمهای تولید ناموفق بوده اند. از این رو مطالعات بسیاری جهت یافتن نوعی ارزیابی عملکرد، برپایه هزینه ها صورت گرفته است تا این کمبود را خنثی کند [12]. نویسندگان، عملکرد هزینه کلی را با پارامترهای ذیل تعریف کردند: موعد تحویل سفارش، زمان اتمام[۱]، تعداد سفارشات[۲]، تعداد عملیات[۳]، زمان پردازش محصول، هزینه مواد اولیه[۴]، هزینه پردازش عملیاتها[۵]، بازده کاری[۶]، زمان آغاز پردازش[۷]، زمان انتشار سفارش در خط تولید[۸]، دیرکرد[۹]، هزینه نگهداری[۱۰]، هزینه تحویل با تاخیر[۱۱] . عملکرد هزینه مذکور، جهت ارزیابی قوانین زمانبندی متفاوت در محیط جاب شاپ مورد استفاده قرار گرفته است.

ویرا و همکارانش [54]، هزینه زمانبندی مجدد را به سه گروه طبقه بندی کرده اند. هزینه های محاسباتی[۱۲]، هزینه های راه اندازی[۱۳]، و هزینه های حمل و نقل[۱۴]. هزینه محاسباتی به هزینه بارگذاری

[1] Completion time
[2] Number of Jobs
[3] Number of operations
[4] Row material cost
[5] Processing cost of operations
[6] Job revenue
[7] Processing start time
[8] Job release time
[9] Job tardiness
[10] Holding cost
[11] Lateness cost
[12] Computational Cost
[13] Setup Cost
[14] Transportation Cost

و راه اندازی زمانبندی بر روی کامپیوترها، هزینه سرمایه گذاری در سیستمهای اطلاعاتی (اعم از سخت افزار و نرم افزار)، هزینه اجرا، نگهداری و به‌روزرسانی سیستمها مربوط می شود. هزینه های راه‌اندازی، به تغییر و تخصیص مجدد ابزار، بر طبق تغییرات در زمانبندی موجود، مربوط می‌شود. هزینه حمل و نقل، که هزینه حمل و نقل مواد هم نامیده می شود، به رسیدن مواد پیش از زمان مقرر، و یا کار رساندن مواد اولیه اضافی مورد نیاز، مطابق تغییرات در زمانبندی موجود، می‌پردازد. از آنجا که موضوع تحقیق، در محیط کارگاهی بررسی می‌شود، و در محیط کارگاهی، هزینه های حمل و نقل، به دلیل کوتاهی مسافت و متمرکز بودن سیستم، ناچیز است، پس از درنظرگرفتن آن، صرف نظر می‌کنیم. همچنین هزینه های محاسباتی در مقایسه با هزینه های راه اندازی ناچیز است و آنها را در محاسبات، وارد نمی‌کنیم. با در نظر گرفتن این دلایل، نیاز مبرمی برای یافتن یک ارزیابی هزینه مناسب در زمانبندی مجدد، وجود دارد. *کاپانوس و همکارانش*[55] ، نوعی از تابع هدف هزینه زمانبندی مجدد را معرفی کردند و آن را در بهینه‌سازی فرایند تولید برنامه زمانبندی جهت بروزرسانی زمانبندیهای پایدارتری در زمینه های صنایع شیمیایی بکار بردند. تابع هزینه زمانبندی مجددی که آنها معرفی کردند شامل سه منبع اصلی می شود: انحراف زمان شروع کلی، هزینه تخصیص مجدد واحد، و هزینه تخصیص توالی مجدد سفارش. نویسندگان چنین نتیجه گرفتند که در نظر گرفتن هزینه زمانبندی مجدد در تولید زمانبندی، منجر به هموار سازی خلاء موجود میان تئوری و عمل در مشکلات زمانبندی خواهد شد.

۲-۴ جمع بندی

در این پژوهش، شیوه زمانبندی مجدد با استفاده از الگوریتم FBS با تابع هدف حداقل کردن طول زمان‌بندی[1]، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش، زمانبندی آفلاین، و رویدادمحور به عنوان یک استراتژی مناسب در نظر گرفته شده است. در زمان اختلال، زمانبندی موجود، به بروزرسانی سریع جهت رفع اختلال، نیاز دارد. در این تحقیق دو شیوه زمانبندی مجدد مورد بررسی قرار گرفتند:

[1] makespan

زمانبندی مجدد جامع و شیوه های اصلاحی زمانبندی. پاسخگویی به اختلالات، توسط TR منجر به هزینه های عملکرد بالا و ایجاد اختلال در سیستم می‌شود. اصلاح زمانبندی برای هر اختلالی و در هر شرایطی نیز هم باعث پایین آمدن کارآیی می شود. بنابراین یافتن نکته‌ای برای زمانبندی مجدد جامع سیستم، بعد از اجرای برخی از اصلاحات، می تواند شیوه ای مناسب در جهت کاهش هزینه‌های کلی اجرای زمانبندی مجدد باشد و همچنین کارآیی زمانبندی بروزرسانی شده را افزایش بخشد. اگرچه الگوریتمهای اصلاحی موجود در ادبیات، می تواند راه حلهایی را با انحرافات کمتر و سرعت بیشتر از *زمانبندی مجدد جامع* ارائه دهد، کارآیی متدهای اصلاحی معمولا کمتر از *زمانبندی مجدد جامع* است. از آنجا که شیوه های اصلاحی برآنند که به زمانبندی اصلی پایبند بمانند، از اینرو، شیوه اصلاحی که بتواند زمانبندی را بر پایه معیارهای عملکرد ارائه دهد، این کمبود را جبران میکند. در این تحقیق FBS برای اصلاح اختلالات زمانبندی، به کار گرفته شده است. همچنین این الگوریتم در تولید زمانبندی اولیه و زمانبندی بروزرسانی شده جامع هم استفاده شده است. کیفیت بالای راه حلها و عملکردها، سرعت بالای جستجو، و قابلیت بهره برداری از انعطاف پذیری ها در محیط FMS برخی از مزایای ارزشمند FBS هستند که در ادبیات بدان پرداخته شده است، که آنرا ابزاری مناسب جهت زمانبندی مجدد می‌سازد. ارزیابیهای براساس زمان و پایداری، اهدافی رقابتی هستند: کمینه کردن زمان تکمیل، برای ارضای نیازهای مشتری می‌تواند موجب انحراف زیادی در زمانبندی بروزرسانی شود، در نتیجه باعث ایجاد هزینه های عملیاتی زیادی شود. از طرفی دیگر، هرگونه انحراف از زمانبندی اصلی موجب افزایش ناپایداری[1] در سیستم میشود. وو و همکارانش، نشان دادند که چون کارآیی و پایداری اهدافی متناقض هستند، انتخاب هدف به موقعیت و شرایط وابسته است. یک شیوه مناسب جهت غلبه بر اثرات متقابل اندازه گیری ها اینست که نوعی اندازه گیری بر اساس هزینه را که می تواند ذاتا ارتباط میان کارایی و پایداری زمانبندی را شناسایی کند، تعریف کنیم. هدف تحقیق پیش رو اینست که : نشان دهد شیوه زمانبندی مجدد که از FBS استفاده می‌کند، شیوه ای مناسب برای کنترل اختلالات می باشد که

[1] Nervousness

منجر به تولید زمانبندی بروزرسانی شده، می‌شود که ارتباط میان ویژگیهای پایداری محور و زمانمحور را ممکن می سازد. برای اثبات این هدف، توابع هدف مختلف ، جهت سنجش تاثیرات منفی تغییرات به خاطر هربار زمانبندی مجدد ، تعریف شد. به علاوه یک الگوریتم ابتکاری FBSمحور، برای زمانبندی مجدد کل سیستم، در زمان اختلال به کار گرفته میشود تا زمانبندی جدیدی توسط تابع هدف زمانبندی مجدد - که قبلا معرفی کردیم-، تولید میکند در پایان مجموعه تحقیقات پیشین حول این موضوع و نتایج آنها را در جدول ذیل آوردیم.

سال	محققان	موضوع پژوهش	نتیجه پژوهش
۱۹۹۷	سوتسکف و همکاران	بررسی شاخص پایداری	ارائه تحلیلی ثانویه جهت اداره کردن پراکندگیها در محیط جاب شاپ
۱۹۹۴	لئون و همکاران	بررسی شاخص استحکام	متوسط سکون سیستم، به عنوان یک واحد ارزیابی استحکام، در موارد انحراف زمان پردازش، عملکرد مناسبی دارد
۱۹۹۵	دنیلز و کوولیس	بررسی شاخص استحکام	زمانبندی‌ای که توسط معیار استحکام، ایجاد شده است نسبت به زمانبندی های بر پایه قواعد اولویت پیشین، بهتر عمل می کند
۱۹۹۹	شفایی و همکاران	بررسی شاخص هزینه	ارائه تابعی از مسایل اقتصادی بررسی زمانبندی بر اثر آن
۲۰۱۰	ناصری	زمانبندی مجدد TR تحت اختلالات خرابی ماشین، لغو و رسیدن سفارش	عملکرد زمانبندی جامع بسته به زمان وقوع، و دامنه وقوع اختلال متفاوت است
۱۹۹۳	برندیمارت	زمانبندی مجدد جامع (TR)	استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع با تابع هدف کمینه کردن تابع وزنی دیرکرد و زمان تکمیل

سال	محققان	موضوع پژوهش	نتیجه پژوهش
۲۰۰۲	نجیب و همکاران	زمانبندی مجدد جامع (TR)	ارائه روشی با استفاده از متد آنیلینگ
۲۰۰۷	*وانگ* و همکاران	زمانبندی مجدد جامع (TR)	ارائه روشی بر پایه الگوریتم جستجوی پرتو تصفیه شده و مقایسه با نتایج الگوریتم ژنتیک
۱۹۹۷	ابومازیار و سوستسکا	مقایسه زمانبندی مجدد RSR با TR و Repair	RSR از لحاظ بازدهی و پایداری از دو روش دیگر بدتر است
۱۹۹۱	بین و همکاران	زمانبندی مجدد اصلاحی	ارائه روش MATCH -UP
۱۹۹۹	آکترک و گرغلو	زمانبندی مجدد اصلاحی	پاسخ به اختلال خرابی ماشین با زمانبندی مجدد در سیستم فلوشاپ
۲۰۰۹	صابونچوغلو و گورن	زمانبندی مجدد اصلاحی	ارائه متدی برای اصلاح زمانبندی در اثر بروز ۸ نوع از اختلال
۱۹۹۷	ابومازیار و سوستسکا	مقایسه زمانبندی مجدد اصلاحی و جامع	TR در بهینه سازی زمان تکمیل و AOR در مقدار انحراف از زمانبندی اولیه بهتر از دیگری است
۲۰۰۳	سابرامانیام و همکاران	زمانبندی مجدد تحت اختلال خرابی ماشین، غیبت، زمان پردازش متفاوت، و رسیدن سفارش فوری در AOR	AOR از RSR در پایداری و زمان تکمیل عملکرد بهتری دارد، اما در صورت تصحیح چندباره سطح عملکرد نزول می‌یابد
۱۹۹۹	هویتومت و همکاران	ارائه مدلی از زمانبندی مجدد برای در نظر گرفتن اثر دیرکرد	تابع درجه دوم وزنی، نسبت به مجموع وزنی، تاثیرات افزایش تاخیر را بهتر نشان میدهد

سال	محققان	موضوع پژوهش	نتیجه پژوهش
۲۰۰۳	فهمی و همکاران	بررسی بازدهی زمانی زمانبندی با در نظرگرفتن تغییرات درصدی زمان تکمیل	ارائه الگویی بر پایه کمترین نرخ افزایش زمان تکمیل
۱۹۹۹	صابونچوغلو و کربوک	ارائه روشی برای زمان شروع زمانبندی مجدد پس از انحراف عملیات از زمانبندی اولیه، به مقداری مشخص	به‌روزرسانی متناوب برنامه زمانبندی، اثرات منفی بیشتری از بکارگیری قواعد اولویت دارند
۲۰۰۵	سابرامانیام و همکاران	ارائه روشی برای اصلاح زمانبندی در صورت بروز چند اختلال همزمان	زمانبندی مجدد سیستم به هنگام وقوع هر اختلال، راه حل مناسبی برای سیستم های جاب‌شاپ است
۲۰۰۹	صابونچوغلو و گورن	استراتژی مناسب برای زمانبندی سیستم	در محیط‌های ایستا و پویا، زمانبندی آفلاین، بهتر از زمانبندی آنلاین عمل می کند
۱۹۸۹	هان و همکاران	زمانبندی مجدد جامع (TR)	ارائه مدلی بر پایه برنامه ریزی غیرخطی برای زمانبندی مجدد به هنگام
۱۹۹۱	هاتچیسون و همکاران	زمانبندی مجدد جامع (TR)	ارائه مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مختلط، برای مسئله زمانبندی تصادفی در سیستم FMS
۲۰۰۹	کاموند و همکاران	زمانبندی مجدد جامع (TR)	ارائه یک مدل MILP برای حل مسائل زمانبندی مجدد کوچک و متوسط
۲۰۱۱	چان و همکاران	زمانبندی مجدد جامع (TR)	تغییر پویای قواعد اولویت، در بازه‌های مناسب در طول زمانبندی پویا، عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد

جدول۲-۱ پیشینه تحقیق

فصل سوم: الگوسازی و روش پژوهش

۳-۱ مقدمه

تغییرات و رویدادهای پیشبینی نشده، به دلیل محیط پویا و عدم قطعیت در محیط تولید، همیشه اتفاق می‌افتند. سیستم های تولید برای باقی ماندن در بازارهای رقابتی کنونی، باید به صورت مداوم به تغییرات واکنش نشان بدهند و سریعا به‌روزرسانی شوند. زمانبندی مجدد یک عملیات ضروری برای پاسخ به اختلالات بوجود آمده در سیستم محسوب می شود.

در این بخش به متدولوژی زمانبندی مجدد، برای تولید زمانبندی هایی با کمترین زمان تکمیل مجموعه سفارشها، همراه با بازدهی و پایداری مناسب تحت اختلال دوباره کاری می‌پردازیم. روشی که برای تولید زمانبندی در نظر گرفته شده، روش HFBS (الگوریتم ابتکاری جستجوی پرتو محلی تصفیه شده)، به دلیل سرعت بالا و کیفیت پاسخهاست. پیش از این سه شکل از اختلال در ادبیات تحقیق در نظر گرفته شده است: خرابی ماشین[1]، رسیدن سفارش تازه[2]، و کنسل شدن سفارش قبلی[3]. در این تحقیق اختلال دوباره‌کاری یا مشکلات کیفیت را که منجر به اجرای دوباره یک عملیات می‌شود، بررسی می‌کنیم. در پایان، مطابق ادبیات تحقیق، بر پایه شاخص های معرفی شده در ادبیات تحقیق –که در فصل قبل آمده- عملکرد زمانبندی ها را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

۳-۲ جامعه آماری

جامعه آماری برای اجرای این تحقیق کارخانجات تولیدی هستند که تولید کارگاهی دارند، و مطابق با مفروضات مساله زمانبندی، آنطور که در بخشهای بعد تشریح می‌شوند، به تولید محصول می‌پردازند. در این پژوهش، سیستم تولیدی مد نظر، یک خط تولید مونتاژی است که قطعات به مرور به بدنه اصلی متصل می شوند.

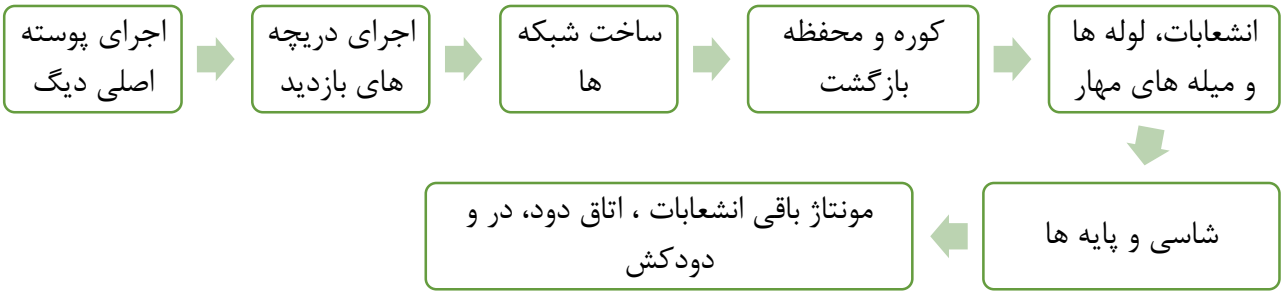
[1] Machine breakdown
[2] New order arrival
[3] Job cancellation

۳-۳ نمونه آماری

در این پژوهش به صورت موردی، خط تولید دیگهای بخار را مورد مطالعه قرار می دهیم. این محصول، در ظرفیتهای مختلف ساخته می‌شود اما شکل تولید این ظرفیتها، یکی است. لذا زمان پردازش هر فعالیت بسته به مدل محصول تولیدی، متفاوت است. از این رو می توان خط تولید مورد نظر را یک خط تولید چند مدله دانست.

خط تولید دیگهای بخار از نوع فایرتیوب، در بخش ضمایم آمده است. در این خط تولید مجموعه‌ای از فعالیتهای برای تولید محصول نهایی اجرا می‌شود. در این مجموعه فعالیتها، ابندا گلوگاه خط تولید را باید شناسایی نماییم. مشخص است که مونتاژ بدنه اصلی گلوگاه خط محسوب می‌شود. مراحل موجود در خط تولید را به چند مرحله کلی تر تقسیم بندی نمودیم:

۱. اجرای پوسته اصلی دیگ
۲. اجرای دریچه های بازدید
۳. ساخت شبکه ها
۴. ساخت و مونتاژ کوره و محفظه بازگشتی
۵. نصب و ساخت انشعابات، لوله ها و میله های مهار
۶. ساخت و مونتاژ شاسی و پایه ها
۷. مونتاژ باقی انشعابات، اتاق دود، در و دودکش



شکل ۳-۱ فرآیند عملیات خط تولید دیگ بخار

در این خط تولید دپارتمانهای مختلفی موجودند که از تعدادی نیروی انسانی که تخصصهای برشکاری و جوشکاری را دارند به همراه ماشین آلات وابسته وجود دارند. لذا در انطباق با مسئله خطوط تولید مد نظر با مدلهای مرسوم، هر دپارتمان را معادل یک ماشین در نظر گرفتیم.

۳-۳ روش تحقیق

۳-۳-۱ شرح مسئله

در این پایان نامه، سیستم تولیدی چندمدله را بررسی می کنیم. منظور از خط تولید چند مدله، آن خط تولیدی است که محصولاتی را که توالی مشخص اما زمان پردازش متفاوتی دارند، تولید می‌کنند. بنا به تعاریف موجود در ادبیات فنی این موضوع، سیستم مورد نظر، یک سیستم جاب شاپ فرض شده است. تعداد مشخصی از سفارشها، که هریک شامل تعدادی عملیات می شوند، تعدادی ماشین آلات که توانایی اجرای آن عملیات، با زمان پردازش متفاوت را دارند، در این خط تولید موجود است. زمانبندی اولیه بر اساس تابع زمان محور تولید می شود.

در طول اجرای زمانبندی، یکی از عملیات به دلایلی که می‌تواند مشکل کیفیت باشد، باید دوباره تکرار شود یا در یکی از ماشین آلات اصلاح و تعمیر شود، لذا زمانبندی اولیه را تحت تاثیر قرار می‌دهد . در زمان اختلال، یک زمانبندی جدید، بر اساس ماشین آلات در دسترس، و فعالیتهای باقیمانده برای هر سفارش، ایجاد می‌شود. در ادامه مفروضات این پژوهش آمده است:

- سیستم خط تولید چندمدله بنا به تعاریف، خصوصیات یک سیستم جاب شاپ را داراست و یک سیستم تولیدی انعطاف پذیر (FMS) محسوب می‌شود.
- هیچیک از سفارشهایی که وارد خط تولید می‌شوند، به یکدیگر وابسته نیستند (بدان معنا که اجرای یکی، مستلزم اجرای قبلی باشد)
- هیچ فعالیتی نمی تواند در آن واحد، در بیش از یک ماشین، پردازش شود.
- هیچ ماشینی نمی تواند در آن واحد، بیش از یک فعالیت را انجام دهد.
- همه ماشین آلات مستقل از دیگری هستند، و در زمان آغاز (t=0) در دسترس هستند.
- زمان راه اندازی ماشین آلات و تامین مواد اولیه، در نظر گرفته نشده اند.
- سفارشها مستقل از دیگری است و می توانند در هر زمانی اجرا شوند.
- زمان پردازش در طول افق زمانبندی ثابت و قطعی است.

زمانبندی اولیه و زمانبندی به‌روزرسانی شده، با الگوریتم ابتکاری جستجوی پرتو محلی تصفیه شده (HFBS) تولید می‌شوند.

۲-۳-۳ زمان‌بندی مبتنی بر حداقل کردن طول زمانبندی با استفاده از FBS

به دلیل NP بودن مسائل زمان‌بندی/زمان‌بندی مجدد، همیشه یافتن یک راه حل بهینه و سریع به عنوان یک برنامه‌ی بروزشده یا اولیه در محیط‌های FMS ممکن نیست. بنابراین، روش‌های فراابتکاری مبتنی بر هوش مصنوعی (AI) اخیرا در سطح وسیعی برای تولید راه حل‌های نزدیک به بهینه، در یک زمان معقول به کار رفته‌اند. در این پژوهش، الگوریتم ابتکاری جست‌وجوی پرتو تصفیه شده(FBS)، در ایجاد زمان‌بندی‌های بروزشده و اولیه به کار می‌رود. تابع هدف، کمینه کردن makespan برای ایجاد زمان‌بندی‌های بروزشده و بهینه در FBS به کار می‌رود. در بخش بعدی، در

ابتدا روش FBS به صورت مختصر توضیح داده شده و بعد از آن الگوریتم کامل زمان‌بندی مجدد مبتنی بر FBS ارائه می‌شود.

۳-۳-۲-۱ الگوریتم جست و جوی پرتو تصفیه شده[1]

جست و جوی پرتو تصفیه شده(FBS) زیرمجموعه‌ی الگوریتم جست‌وجوی پرتو[2] (BS) است به طوری که تطبیقی از الگوریتم شاخه و کران[3] (B&B) است که در حل مسائل بهینه‌سازی کاربرد دارد. این الگوریتم از روش‌های ابتکاری، برای تخمین تعداد مشخصی از بهترین مسیرها و حذف بقیه استفاده می‌کنند. FBS بسیار سریع‌تر از B&B عمل می‌کند زیرا بخش بزرگی از درخت جست و جو به صورت تجمعی، هرس شده است. الگوریتم‌های مبتنی بر جستجوی پرتو (BS) مانند الگوریتم‌های جست و جوی اول سطح[4] هستند زیرا به صورت سطح به سطح و بدون پیمایش معکوس به پیش می‌روند [16]. با این حال برخلاف جست‌وجوی اول سطح، BS تمام گره‌های احتمالی را جست و جو نمی‌کند و از بهترین گره‌های احتمالی در هر سطح به سمت پائین حرکت می‌کند. یک تابع ارزیابی نیز برای شناسایی گره‌های احتمالی در هر سطح به کار می‌رود که مسئله‌ی یافتن مبادله‌ی صحیح بین راه حل‌های سریع اما ضعیف و از نظر محاسباتی سخت ولی بهتر، را معرفی می‌کند [56]. جست و جوی پرتو تصفیه شده، برای یافتن یک تعادل مناسب بین سرعت و دقت معرفی شده است [41]. با دو فاز ارزیابی، که ارزیابی محلی و سراسری نام دارند، فاز فیلترینگ و انتخاب پرتو، گره‌ها در هر سطح هرس می‌شوند و بهترین گره شناسایی می‌شود. دو پارامتر کلیدی در الگوریتم FBS *عرض فیلتر*[5] و *عرض پرتو*[6] نام دارند که به ترتیب تعداد گره‌های فیلترشده (f) و تعداد راه حل‌های نهایی (b) را شناسایی می‌کنند. تعداد b گره از طریق رویه‌ی ارزیابی سراسری در اولین سطح انتخاب می‌شوند. برای هر سطح بعدی، تعداد f گره در ابتدا از طریق روال ارزیابی فیلتر می‌شوند و در مرحله‌ی بعدی با اجرای یک روال

[1] Filtered-beam-search
[2] Beam search
[3] Branch & bound
[4] Breadth-first search
[5] Filterwidth
[6] beamwidth

ارزیابی سراسری بر گره‌های باقی‌مانده (f)، بهترین گره برای هر گره‌ی b انتخاب می‌شود. گره‌های انتخابی در هر سطح به زمان‌بندی‌های ناتمام اضافه می‌شوند و در نهایت تعداد b زمان‌بندی ایجاد می‌شوند.

مطابق شکل برای تعیین گره‌های پرتو در اولین سطح با استفاده از ارزیابی سراسری، جست و جوی پرتو تصفیه شده به صورت مستقل برای ایجاد یک زمان‌بندی جزئی از هر کدام به کار می‌رود (این یک مثال است زیرا b به ۲ تنظیم شده است، دو درخت مستقل نیز ایجاد می‌شوند که منجر به ایجاد دو زمان بندی می‌شوند). زمانی که بهترین گره در هر سطح برای هر پرتو شناسایی شد، گره‌ها با استفاده از روش شاخه‌ای برای سطح بعدی انتخاب می‌شوند. گره‌های ایجاد شده در ابتدا به صورت محلی ارزیابی می‌شوند و تعداد f گره برای ارزیابی سراسری باقی می‌مانند. این فرایند نیز تا زمانی که تمام زوج‌های دستگاه – وظیفه تخصیص پیدا کنند و تعداد b زمان‌بندی نیز ایجاد شوند، ادامه می‌یابد.

۳-۳-۲-۲ روش مبتنی بر FBS

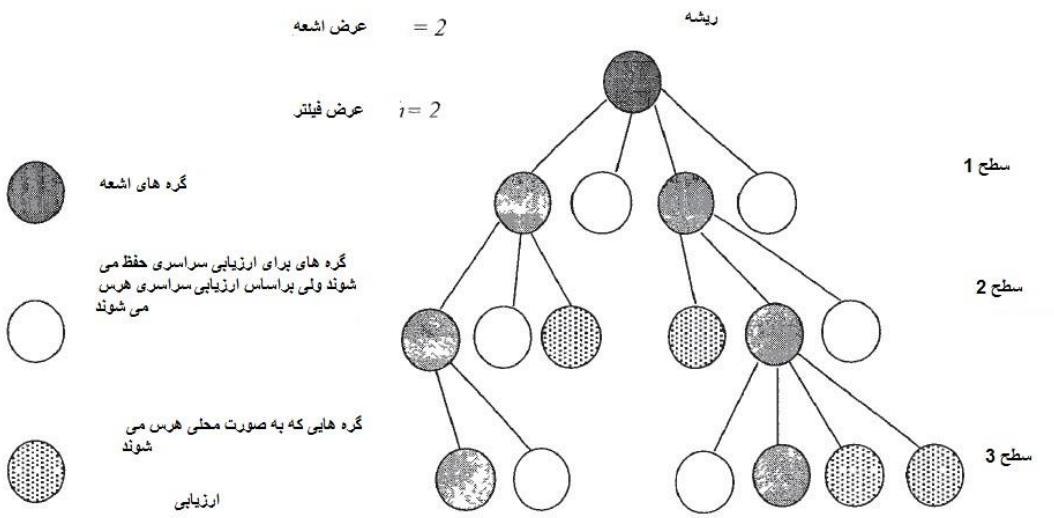
فرایند ایجاد زمان‌بندی با استفاده از روش FBS شامل دو فاز است: ایجاد فضای جست و جو به نام روش شاخه‌ای و ارزیابی گره‌ها با استفاده از توابع ارزیابی محلی و سراسری به نام روش ترکیبی. برای ایجاد یک درخت جست و جو در FBS دو فرآیند به نام‌های *فعال*[1] و *غیرتأخیری*[2] برای زمان‌بندی بخش عملیات شرح داده شده‌اند[57] . در این مطالعه شکل اصلاح شده‌ی غیرتأخیری به نام M_NONDELAY به عنوان یک روش شاخه‌ای به کار می‌رود[25] . بعد از ایجاد یک سطح با استفاده از الگوریتم M_NONDELAY ، آماده‌ی اتصال است و با روش جست و جو ادامه پیدا می‌کند. نکته‌ی کلیدی در استفاده از FBS انتخاب تابع ارزیابی مناسب است. فرآیند جست و جو در میان گره‌های موجود توسط توابع ارزیابی اجرا می‌شود و زمان‌بندی‌های نسبی نیز در هر سطح از درخت

[1] Active

[2] Nondelay

جست و جو انجام می‌شوند. در این پژوهش، کوتاه‌ترین زمان پردازش (M_SPT) [25] به عنوان یک قانون توزیع در فرآیند ارزیابی سراسری و محلی به کار می‌رود.

شکل ۳-۲ دیاگرام الگوریتم جستجوی پرتو



یک مقدار مناسب برای *عرض فیلتر* و *عرض پرتو*، *در واقع یافتن* یک تعادل مناسب بین دقت و سرعت در الگوریتم است. تعداد *عرض پرتو*، تعداد زمان‌بندی‌های ایجاد شده برای هر مسئله را تعیین می‌کند در حالی که *عرض فیلتر* تعداد انتخاب‌های تخصیص دستگاه عملیاتی را در هر سطح تعیین می‌کند. مقادیر آن‌ها مبتنی بر مسئله هستند و می‌توان آن‌ها را با تحلیل مبادله‌ی بین سطح عملکرد زمان‌بندی‌های تولید شده و زمان‌های محاسباتی آن‌ها تعیین کرد. در این مطالعه برای هر مسئله‌ی مشخص، یک محدوده از مقادیر برای f و b تست شده‌اند. زوج کوچکتر f و b که بهترین مقادیر هدف را به وجود می‌آورند، به عنوان *عرض فیلتر* و *عرض پرتو* انتخاب شده و در فرایند FBS به کار خواهد رفت.

۳-۳-۲-۳ الگوریتم پیشنهادی زمان‌بندی مجدد

در زمان اختلال، می‌توان برنامه را با زمان‌بندی مجدد تمام عملیات باقیمانده در سیستم، به‌روزرسانی کرد. برای ایجاد یک زمان‌بندی به‌روز شده، عملیات باقی مانده و دسترسی به هر دستگاه را باید مشخص کرد. ما نیز عملیات باقی مانده را به عنوان عملیاتی تعریف می‌کنیم که آغاز نشده‌اند. این نشان می‌دهد در ابتدا باید عملیاتی را که در زمان اختلال اجرا می‌شوند، کامل کرد تا بتوان نزدیکترین دسترسی به هر دستگاه را شناسایی کرد. مراحل زیر نحوه‌ی پیاده‌سازی روش زمان‌بندی مجدد جامع (TR) را در هر نوع وقفه یا اختلال، نشان می‌دهند:

مرحله‌ی ۱: مقداردهی اولیه

زمان‌بندی اولیه‌ای را که توسط FBS ایجاد شده است وارد کنید (عملیات، تخصیص، زمان آغاز)، مقدار *عرض فیلتر* (f) و *عرض پرتو* (b) را وارد کنید.

مرحله‌ی ۲: وقوع اختلال

در زمان اختلال، باید سیستم را برای پاسخ به آنها زمان‌بندی کرد. بسته به نوع اختلال، سناریوهای مختلفی به وجود می‌آیند؛

برای اختلال تعمیر یا دوباره کاری در این مطالعه، پس از اجرای یک عملیات، ممکن است قطعه نیاز به اصلاح یا دوباره کاری داشته باشد، بنابراین باید مدت زمان تعمیر یا دوباره کاری، داده شود. در این سناریو، نباید در لحظه وقوع اختلال، تمام عملیات دیگر در حال اجرا را، نیمه تمام رها نمود و زمانبندی را متوقف کرد. عملیات نیمه کاره در ماشین‌آلات تخصیص یافته ادامه می یابند تا پایان یابند. در همین حال برای عملیاتی که باقیمانده اند، باید زمانبندی را به‌روزرسانی نمود.

مرحله‌ی ۳: ایجاد گره

(i) M_NONDELAY برای ایجاد گره‌ها از زمان‌بندی جزئی بروزرسانی شده از مرحله‌ی ۲ به کار می‌رود. تعداد کلی گره‌های ایجاد شده N را بررسی کنید؛ سطح را بروزرسانی کنید و زمان‌بندی جزئی PS_l را با ایجاد گره‌ها بروزرسانی کنید.

(ii) اگر $N < b$ باشد، آن‌گاه به سطح بعدی بروید، گره‌های جدید را با استفاده از M_NONDELAY و PS_l ایجاد کنید، سطح و PS_l را با ایجاد گره‌ها بروزرسانی کنید. اگر $N < b$ باشد سراغ مرحله‌ی۲ بروید. (ii)؛ در غیر این صورت به مرحله‌ی ۳ بروید (iii).

(iii) مقادیر تابع ارزیابی سراسری را برای تمام گره‌ها پیدا کنید و بهترین b گره را انتخاب کنید (گره‌های پرتو اولیه را تعریف کنید). مجموعه‌های نامزد هر پرتو $PS_1(1), PS_2(2), \dots, PS_l(b)$ را تعیین کنید.

مرحله‌ی ۴: تعیین گره‌های پرتو

سطح و تعداد عملیات باقی‌مانده را بررسی کنید. در صورتی که هر عملیاتی باقی مانده باشد، به مرحله‌ی ۴ بروید (iv)؛ سپس به مرحله‌ی ۵ مراجعه کنید.

(i) N گره‌ی جدید را از هر گره‌ی پرتو براساس M_NONDELAY با PS_l به عنوان زمان‌بندی جزئی براساس گره‌ی پرتو ایجاد کنید. در صورتی که $N < b$ باشد به مرحله‌ی ۴ (i) بروید در غیر این صورت به مرحله‌ی ۴ (ii) بروید.

(ii) *فرآیند تصفیه* – بهترین f گره را براساس تابع ارزیابی محلی انتخاب کنید.

(iii) *فرآیند ارزیابی سراسری* – محاسبه‌ی مقادیر تابع هدف برای هر گره‌ی تصفیه شده.

(iv) *انتخاب گره های پرتو* – گره‌هایی با بهترین تابع هدف را انتخاب کنید، آن را به زمان‌بندی جزئی اضافه کنید و زمان‌بندی جزئی و سطح را بروزرسانی کنید.

مرحله‌ی ۵: زمان‌بندی را انتخاب کنید

در میان b زمان‌بندی تولید شده، مجموعه‌ی زمان‌بندی یا مجموعه‌های زمان‌بندی با بهترین مقادیر تابع هدف را انتخاب کنید.

۳-۳-۲-۴ تحلیل پیچیدگی

پیچیدگی زمانی الگوریتم پیشنهادی در بدترین نمونه برابر است با $O(n^3)$ که در آن n برابر با تعداد عملیات زمان‌بندی شده در مسئله‌ی FMS است. در بدترین نمونه، الگوریتم در مرحله‌ی ۳ حداکثر n گره‌ی احتمالی را ایجاد می‌کند و سپس b بهترین گره از n گره براساس یک تابع ارزیابی سراسری انتخاب می‌شوند (bn). برای پیدا کردن مقدار تابع ارزیابی سراسری، الگوریتم باید یک درخت جست و جوی کامل با n عمق را ایجاد کند زیرا n عملیات وجود دارد. سپس پیچیدگی کلی در مرحله‌ی ۳ برابر با $O(bn^2 + n)$ خواهد بود. در مرحله‌ی ۴، دو حلقه وجود دارند، حلقه‌ی خارجی که لازم است زمان محاسباتی آن دقیقا برابر با bn باشد زیرا b پرتو کامل را تشکیل می‌دهد که هرکدام دارای n عمق و حلقه‌ی داخلی هستند به طوری که در ابتدا f گره ازطریق ارزیابی محلی در میان انواع موجود انتخاب می‌شوند (حداکثر n گره) و بعدا به n سطح توسعه پیدا می‌کنند، در نتیجه زمان محاسباتی کل برابر با fn^2 می‌شود. بنابراین، پیچیدگی کلی مرحله‌ی ۴ برابر با $bn \times fn^2$ است. در نتیجه پیچیدگی زمانی مرحله‌ی ۴ برابر با $O(bfn^3)$ است. بنابراین پیچیدگی کلی الگوریتم پیشنهادی برابر است با

$O(Max\ (bn^2 + n, bfn3))$. از آنجا که b و f در مقایسه با n کوچک هستند، پیچیدگی کلی الگوریتم برابر است با $O(n^3)$.

۳-۳-۳ مثال‌های نمایشی

مسئله‌ی تست اولیه که در این مطالعه درنظر گرفته شده است یک سیستم تولیدی کوچک با دستگاه‌های نسبتا انعطاف پذیر است که ۴ سفارش موجود در آن‌ها دارای ۳ عملیات هستند. داده های این مثال از مسئله موجود در زمانبندی هزینه محور در محیط تولیدی انعطاف پذیر که ناصری ارائه داده گرفته شده است [12]. جدول ۳-۱ نیز زمان‌های پردازش عملیات را بر دستگاه‌های دیگر نمایش می‌دهد. زمان‌های پردازش به صورت اعداد تصادفی با توزیع یکپارچه بین ۲و ۵ نشان داده شده‌اند.

سفارش	عملیات	زمان پردازش			
		دستگاه ۱	دستگاه ۲	دستگاه ۳	دستگاه ۴
	۱			۳	۴
۱	۲	۲	۵		۵
	۳		۳	۲	۵
	۱	۴			
۲	۲			۳	۴
	۳		۲	۲	۳
	۱	۳	۵	۲	۴
۳	۲	۵	۵		
	۳	۲			
	۱	۴			
۴	۲	۳	۵		۲
	۳	۲			

جدول ۳-۱ زمان پردازش عملیات مثال نمایشی

۳-۳-۳-۱ ایجاد زمان‌بندی اولیه

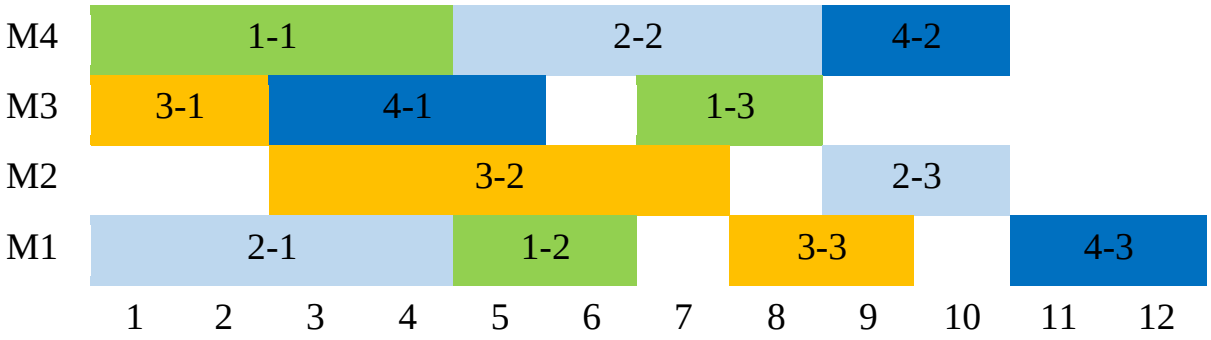
زمان‌بندی اولیه با استفاده از روش FBS مرسوم ایجاد می‌شود [25]. قانون توزیع M_SPT [25] که به صورت تابع ارزیابی محلی و سراسری و تابع هدف به کار می‌رود برابر با طول زمان‌بندی است.

یافتن مقدار مناسب *عرض فیلتر* و *عرض پرتو* یک عمل حیاتی در FBS برای متعادل‌سازی زمان محاسباتی و کیفیت راه حل است. در این مطالعه‌ی موردی مقادیر مناسب این پارامترها از طریق آزمایش‌های تجربی به دست می‌آیند. b و f برابر با ۲ و ۸ تنظیم می‌شوند. مقدار کلی تابع هدف (مقدار – F)، طول زمان‌بندی، بار کاری دستگاه و زمان پردازش کل با تغییر مقدار f و b در جدول ۳-۲ نمایش داده می‌شود. براساس جدول، تنظیم $f = 3$ و $b = 4$ می‌تواند بهترین انتخابی باشد که منجر به دستیابی به پائین‌ترین مقدار با $F = 18$ می‌شود.

	f=1	f=2	f=3	f=4	f=5	f=6	f=7	f=8
b=2	20.8	20.4	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
b=3	20.8	20.4	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
b=4	18.3	18.1	**18**	18	18	18	18	18
b=5	18.3	18.1	18	18	18	18	18	18
b=6	18.3	18.1	18	18	18	18	18	18
b=7	18.3	18	18	18	18	18	18	18
b=8	18.3	18	18	18	18	18	18	18

جدول ۳-۲ مقدار F برای b و f متفاوت

در نتیجه، زمان‌بندی اولیه که با این روش ایجاد می‌شود و پارامترهای مذکور مطابق شکل ۳-۳ به دست می‌آیند.



شکل ۳-۳ نتیجه‌ی زمان‌بندی برای مسئله‌ی FMS با b=4 و f=3

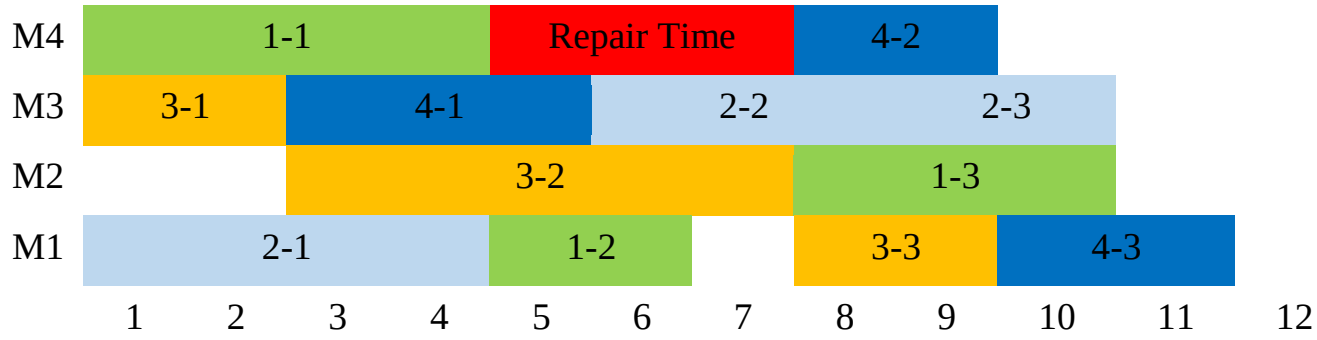
زمان‌بندی تولید شده که در شکل 3-3 ایجاد شده است دارای طول ۱۲ ، حداکثر بار دستگاه ۱۰ و زمان پردازش کامل ۳۴ است.

۳-۳-۳-۲ مثال‌های زمان‌بندی مجدد

ابتدا سه نوع وقفه خرابی دستگاه، دریافت سفارش جدید و لغو سفارش که در مطالعات پیشین در نظر گرفته شدند، نمایش داده می‌شود و نهایتا وقفه جدید که در این پژوهش مورد نظر است، توضیح داده می‌شود. روش زمان‌بندی مجدد جامع (TR) با تابع هدف کمینه کردن زمان تکمیل مجموعه سفارشها، اجرا می‌شود و زمان‌بندی مجدد ایجاد می‌شود و جایگزین زمان‌بندی اولیه می‌شود.

خرابی‌های دستگاه

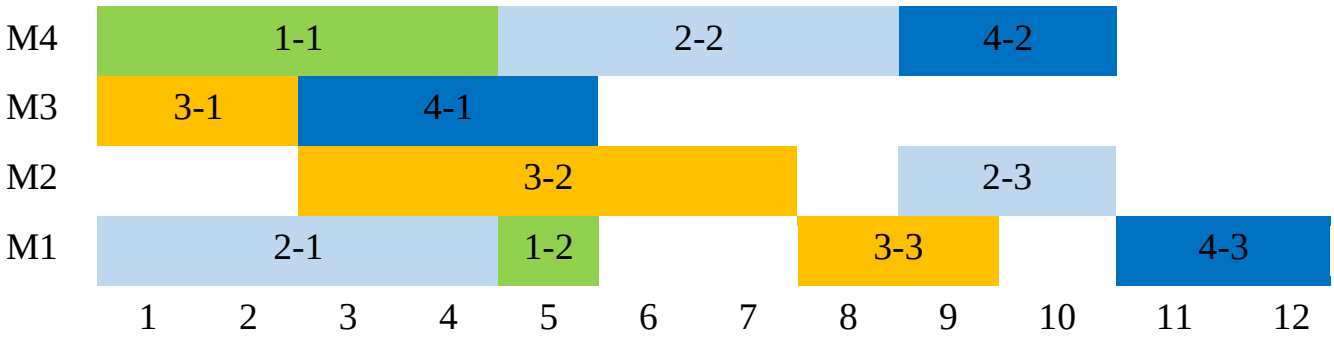
چنانچه دستگاه هایی که در طول اجرای عملیات دچار خرابی شوند، آن دسته از عملیاتی که در حال اجرا در ماشین آلات دیگر هستند، باید تکمیل شوند، اما در زمان وقوع اختلال –در اینجا خرابی یکی از ماشین آلات- باید با احتساب زمان تعمیر دستگاه مذکور، عملیات باقیمانده مجددا زمانبندی شوند. در شکل زیر، دستگاه ۴ در زمان $t = 4$ به مدت $\Delta T = 3$ به عنوان زمان تعمیر، دچار خرابی شده است.



شکل۳- ۴ نمودار گانت که بعد از زمان‌بندی مجدد در نمونه‌ی خرابی دستگاه ۴ در زمان t=4

لغو سفارش

چنانچه در طول اجرای عملیات، یکی از سفارشهای موجود لغو شود، آن عملیاتی که مربوط به سفارش لغو شده است، در هر مرحله‌ای که باشد، متوقف می شود. عملیاتی که در زمان وقوع اختلال در حال پردازش هستند، ادامه می یابند و عملیات باقیمانده، مجددا زمانبندی می‌شوند. در شکل ۳-۵، سفارش ۱ در زمان $t = 5$ لغو شده است.



شکل ۳-۵ نمودار گانت که بعد از زمان‌بندی مجدد در نمونه‌ی لغو سفارش ۱ در t= ۵

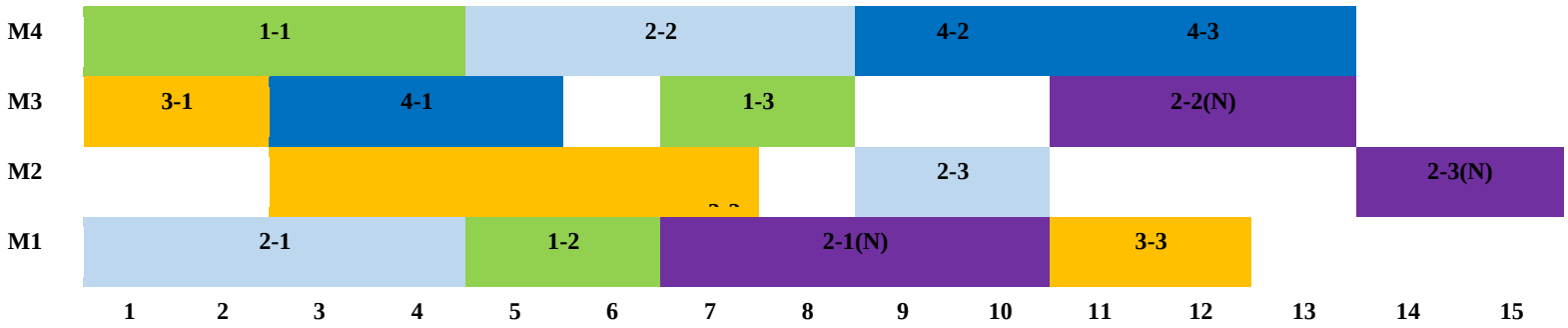
دریافت سفارش جدید

اگر سفارش جدیدی وارد سیستم بشود، باید در لحظه ورود سفارش جدید برای زمانبندی و قرار دادن سفارش تازه در خط تولید، مجددا عملیات باقیمانده را زمانبندی نمود. فرض می‌شود که سفارش جدید یک مدل موجود در خط تولید است و نیاز به زمان‌بندی به عنوان یک وظیفه‌ی معمولی دارد. در شکل ۳-۶ وظیفه‌ی ۲ در $t = 5$ به سیستم می‌رسد. در این مثال زمان تکمیل

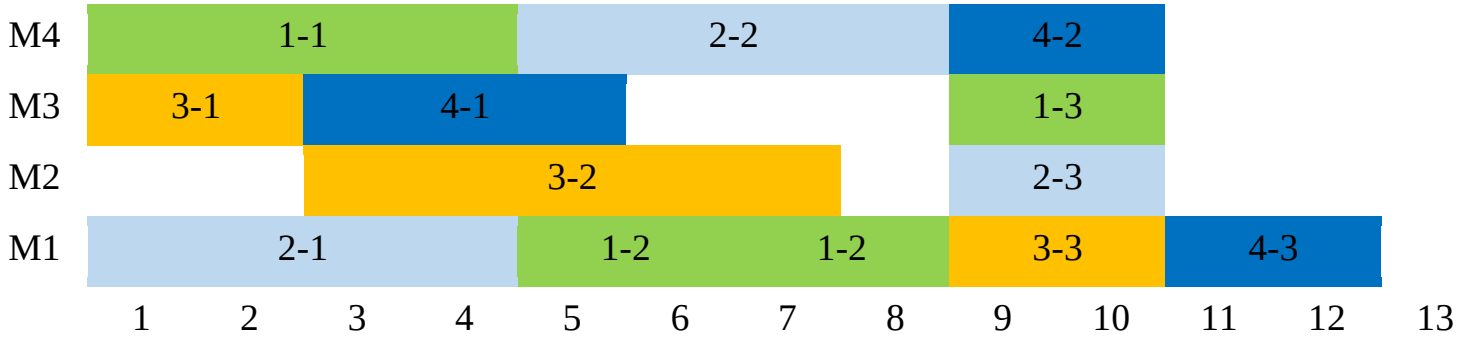
با اعمال اختلال جدید، و زمانبندی مجدد برابر ۱۵ واحد گردید، در واقع با اضافه کردن این سفارش، در مجموع سه واحد به زمان تکمیل آخرین سفارش افزوده شد.

دوباره کاری یا مشکلات کیفیت

همه عوامل زمانبندی که تا پیش از این مثال زده شد، در پژوهشهای پیشین مورد بررسی قرار گرفته اند [12]. در این پژوهش، فرض میکنیم همه سفارشها و ماشین آلات ثابت هستند و دچار اختلال نشده‌اند، اما یکی از فعالیتها نیاز به دوباره کاری و یا تعمیر دارد. در این حالت باید زمانبندی اولیه متوقف شود و زمانبندی جدید با اضافه کردن مجدد آن عملیات به عنوان عملیات باقی مانده، به‌روزرسانی شود. در این مثال فرض کردیم در زمان $t=6$ مشخص شود که عملیات ۲ از سفارش ۱ باید مجددا اجرا شود، توجه کنیدکه در مفروضات مسئله فرض کردیم در صورت بروز مشکلات کیفی، صرفا همان عملیات دچار اختلال می شود و عملیات قبلی از آن محصول نیاز به اجرای مجدد ندارند. در شکل ۳-۷ تغییرات اعمال شده، در هنگام زمانبندی مجدد، با احتساب دوباره کاری فعالیت ۲-۱ نمایش داده شده است. در این مثال زمان تکمیل (makespan) نسبت به زمان بندی اولیه تغییری نکرده و همان ۱۲ واحد باقیمانده است. به عبارتی توانستیم طوری فعالیت مختل شده را دوباره اجرا کنیم که زمان تکمیل افزایش نیابد.



شکل 3- 6 نمودار گانت بعد از زمان‌بندی مجدد در نمونه‌ی دریافت سفارش ۲ در زمان t=5



شکل 3-7 نمودار گانت بعد از زمانبندی مجدد در نمونه‌ی دوباره کاری فعالیت ۲-۱ در زمان t=6

فصل چهارم: برآورد الگو و تجزیه و تحلیل داده ها

۴-۱ مقدمه

برای نمایش بازدهی و عملکرد الگوریتم زمان‌بندی مجدد پیشنهادی، یک مطالعه‌ی عددی انجام، تست و ارزیابی می‌شود. الگوریتم روی یک کامپیوتر شخصی با یک Intel Core i-5 CPU، 6 گیگابایت RAM بر سیستم عامل Microsoft Windows 8.1 اجرا می‌شود. کدها نیز به زبان جاوا، نوشته شده‌اند.

۴-۲ طراحی آزمون

یک آزمون معیار برای ارزیابی عملکرد الگوریتم زمان‌بندی مجدد پیشنهادی با مقیاس‌های عملکرد وابسته به پایداری و زمان، اجرا می‌شود. اثرات سناریو اختلال دوباره کاری نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

۴-۲-۱ معیارهای تجربی

سه معیار تجربی درنظر گرفته می‌شوند: تابع هدف، دامنه‌ی اختلال و زمان‌بندی اختلالات.

- تابع هدف (OBJ): اثرات توابع مختلف هدف مورد مطالعه قرار می‌گیرند. این روش‌ها را می‌توان در روش‌های مبتنی بر زمان مانند مجموع وزن‌دار طول زمان‌بندی ،معادله (۴-۱)؛ تابع درجه دوم تأخیر ، معادله‌ی (۴-۲)؛ و روش‌های مبتنی بر دوام [14]، معادله‌ی (۴-۳)؛ طبقه‌بندی کرد که زمان‌بندی‌ها را براساس توابع هدف متناظر ایجاد می‌کنند.

$$OBJ(Mks) = Max\ C_{ijk} \qquad (۱-۴)$$

$$OBJ(Trd) = \sum_i w_i T_i^2 \qquad (۲-۴)$$

$$OBJ(Stb) = \sum_j \sum_i \left| St_{ij} - St'_{ij} \right| \qquad (۳-۴)$$

- دامنه‌ی اختلال (MAG) : دامنه‌ی اختلال به صورت تعداد اختلالاتی درنظر گرفته می‌شود که در زمان خرابی رخ می‌دهند.
- زمان اختلال (TIM): این معیار به زمان وقوع اختلال نسبت به طول زمان‌بندی اشاره دارد. این زمان‌بندی می تواند در طول خط افق دیر یا زود باشد.

۴-۲-۲ ابعاد آزمایش‌ها

OBJ دارای سه سطح است، M_Mks نشان‌دهنده‌ی طول زمان‌بندی، Q_Trd متناظر با تابع درجه‌دوم تأخیر وظایف و Stb انحراف از زمان‌بندی اولیه است. دو سطح از عملیات، بالا و پائین برای دامنه و زمان‌بندی اختلالات درنظر گرفته می‌شوند. در نتیجه، چهار ترکیب‌بندی در جدول ۴-۱ نشان داده شده‌اند.

شماره‌ی آزمایش	MAG (دامنه)	TIM (زمان‌بندی)
۱	بالا	زود
۲	بالا	دیر
۳	پائین	زود
۴	پائین	دیر

جدول ۴- ۱ سناریوی اختلال

معیار تجربی	سطح ۱ (پائین)	سطح ۲ (بالا)
زمان وقفه (TIM)	۶۰ – ۹۰٪ طول‌زمان‌بندی	۵ – ۴۰٪ از طول‌زمان بندی
	دیر	زود
دامنه‌ی وقفه (MAG)	دوباره کاری یک فعالیت	دوباره کاری ۳ فعالیت

جدولسطوح آزمایش

۴-۲-۳ معیارهای عملکرد

دو معیار عملکرد در این مطالعه درنظر گرفته شدند: بازدهی و پایداری زمان‌بندی‌های بروزشده که به این صورت توصیف می‌شوند؛

۴-۲-۳-۱ بازدهی

بازدهی زمان‌بندی بروزشده به صورت درصدی از تغییرات در طول زمان‌بندی در مقایسه با طول زمان‌بندی برنامه‌ی اولیه تعریف می‌شود که به این صورت است:

$$EFF = \left\{1 - \frac{Mks_{new} - Mks_{initial}}{Mks_{initial}}\right\} \times 100 \qquad (۴-۴)$$

در این معادله Mks_{New} و $Mks_{Initial}$ به ترتیب طول‌های زمان‌بندی بروزشده و اولیه هستند.

۴-۲-۳-۲ پایداری

معیار پایداری به صورت مقیاسی از انحراف در زمان شروع عملیات در زمان‌بندی‌های به‌روزشده در مقایسه با زمان‌بندی اولیه تعریف می‌شود. در این مطالعه، مجموعه‌ی نرمال این انحرافات به صورت معیار عملکرد پیاده‌سازی می‌شود [11].

$$DevSt = \frac{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{p}\left|\left(St'_{ij} - St_{ij}\right)\right|}{k \times p} \qquad (۵-۴)$$

در این معادله $DevSt$ یک انحراف نرمال است، St'_{ij} و St_{ij} نیز زمان‌های شروع عملیات به ترتیب در زمان‌بندی‌های اولیه و بروزشده هستند. k تعداد کلی وظایف و p نیز تعداد کلی عملیات است. مقدار پائین‌تر انحراف منجر به زمان‌بندی پایدارتر می‌شود.

سیستم تولیدی در نظر گرفتیم که در آن ۲۰ سفارش وارد شده‌اند که هریک از سفارشها باید ۷ عملیات را برای تولید محصول نهایی طی کنند، تعداد دپارتمانهایی موجود در کارخانه که قادر به اجرای هر مرحله از کار هستند ۷ است که زمان پردازش هر عملیات بسته به دپارتمانی که باید آنرا اجرا کند متفاوت است، در این آزمون زمان پردازش عملیات را با توزیع یکپارچه بین ۳ تا ۸ در نظر گرفتیم. آزمون طراحی شده در جدول ۴-۱ در حالات مختلف برای سطوح مشخص شده در فصل قبل، اجرا می‌شوند.

پارامتر	مقادیر
تعداد سفارشها	۲۰
تعداد عملیات به ازای هر سفارش	۷
تعداد دستگاه ها	۷
زمان پردازش عملیات	توزیع یکپارچه [3,8]

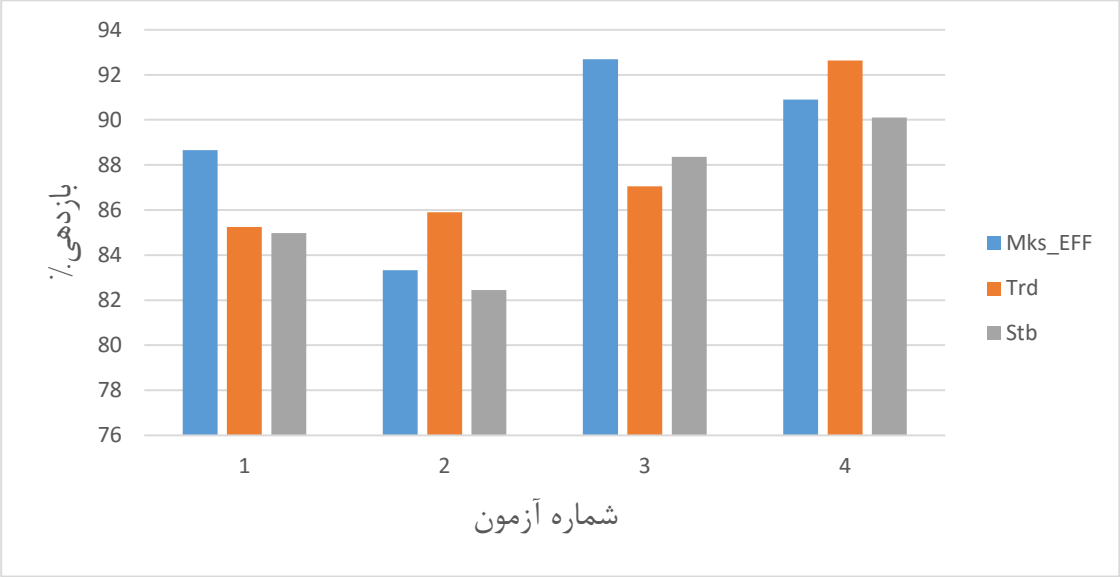
جدول 4-3 متغیرهای زمانبندی اولیه

۴-۳ یافته های پژوهش

نتایج بازدهی زمانبندی های مجدد، حاصل از اجرای آزمون ها در چهار سطح، در جدول زیر آمده است. این نتایج را در نمودار شکل ۴-۱ به تفکیک هر آزمون نمایش دادیم.

شماره آزمایش	Mks_eff	Trd	Stb
1	۸۸,۶۶	۸۵,۲۵	۸۴,۹۸
2	۸۳,۳۳	۸۵,۹	۸۲,۴۵
3	۹۲,۶۹	۸۷,۰۵	۸۸,۳۶
4	۹۰,۹	۹۲,۶۳	۹۰,۱۱

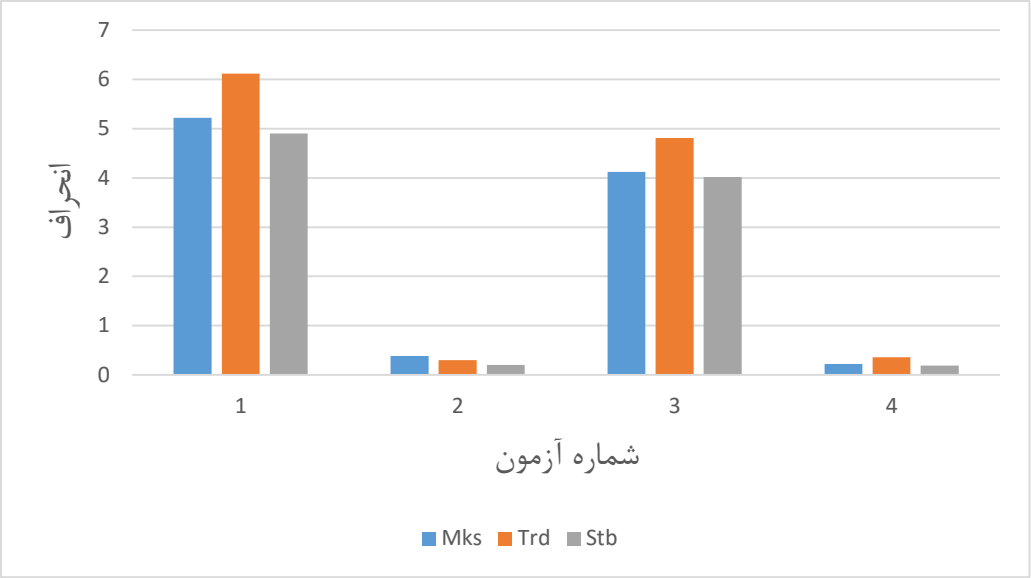
جدول ۴-۴ نتایج بازدهی زمانبندی های مجدد



شکل ۴-۱ نمودار نتایج بازدهی زمانبندی های مجدد

شماره آزمایش	Mks_eff	Trd	Stb
1	5.22	6.12	4.9
2	0.38	0.3	0.2
3	4.12	4.81	4.02
4	0.22	0.36	0.19

جدول ۴-۵ نتایج انحراف از زمانبندی اولیه برای زمانبندی های مجدد آزمونها



شکل ۴-۲ جدول ۴- ۵ نمودار نتایج انحراف از زمانبندی اولیه برای زمانبندی های مجدد آزمونها

۴-۴ تفسیر نتایج

این نتایج نشان می دهد که بازدهی زمانبندی مجدد با تابع هدف زمان تکمیل (Mks) در آن دسته از آزمونهایی که، دوباره کاری خیلی زود در آنها اتفاق افتاده است، از بازدهی همان آزمونها در شرایطی که تابع هدف تاخیر (Trd) و یا پایداری (Stb) برای آنها اختیار شده، بالاتر است.

در طرف مقابل، برای آزمونهایی که خیلی دیر دچار اختلال دوباره کاری شده اند، بازدهی زمانی با تابع هدف تاخیر (Trd)، بالاتر از دو تابع هدف دیگر است.

در آزمون شماره ۲ که تعداد عملیاتی که باید دوباره تکرار شوند، بالاتر است و همینطور زمان وقوع اختلال خیلی دیر است، بازدهی زمانی پایین تر از آزمونهای دیگر است. اینطور می توان تحلیل کرد که به دلیل وقوع اختلال در اواخر زمانبندی، فرصت قرار دادن فعالیت جدید، در زمانهای بیکاری را از دست دادیم.

همانطور که در نمودارها مشخص است، بازدهی در آزمونهای ۳ و ۴ به صورت کلی از آزمونهای ۱ و ۲ بالاتر است و طبیعی است که به دلیل پایین بودن دامنه اختلالات، بازدهی بالاتر خواهد بود. به عبارتی در آزمون ۱ و ۲ که تعداد اختلالات بیشتر است، زمانبندی مجدد هم نسبت به زمانبندی اولیه تغییرات بیشتری خواهد داشت.

در جدول ۴-۳ میزان انحراف هر یک از آزمونها در اثر وقوع اختلال برای توابع هدف متفاوت، نمایش داده شده است. با مشاهده نمودار متناظر، می توان این طور برداشت نمود که در صورت وقوع اختلال در اوایل زمانبندی، انحراف از زمانبندی اولیه بالاتر خواهد بود، و در آزمونهای ۲ و ۴ که اختلال در اواخر زمانبندی رخ داده است، عملیات زیادی را متاثر نمی کند، لذا مجموع انحراف فعالیتها از زمانبندی اولیه ناچیز خواهد بود. تقریبا در همه آزمونها، انحراف در حالتی که تابع هدف تاخیر بوده است، بالاتر از نتایج توابع هدف دیگر بوده است.

۴-۵ اعتبارسنجی

نتایج حاصل از برنامه برای تحلیل وقوع اختلال دوباره کاری در سیستم، با شرایط واقعی مطابقت نزدیکی دارد. همانطور که در بخش یافته های پژوهش آمده است، وقوع دیرهنگام اختلال در شرایط واقعی، زمان اجرای فعالیتهای کمتری را متاثر می کند لذا پایداری زمانبندی نسبت به زمانبندی اولیه، در مقایسه با حالتی که اختلال در اوایل اجرای زمانبندی رخ بدهد، بیشتر است.

در شرایط واقعی، هرچقدر اختلال بیشتری در سیستم رخ بدهد، فعالیتهای بیشتری دچار اختلال می شوند، بنابراین زمانبندی مجدد هم بازدهی پایینتری نسبت به زمانبندی اولیه خواهد داشت. نتایج حاصل از مدل هم، همین مسئله را تایید می‌کند.

نتایج این اختلال در مقایسه با اختلالات دیگری مانند خرابی ماشین یا لغو سفارش قبلی یا رسیدن سفارش جدید، نزدیک به نتایج آن تحقیقات است. در تحقیقات پیشین، برای اختلالاتی از این

قبیل تاثیر زمان وقوع اختلال هرچه دیرتر اتفاق بیفتد کمتر است که در این پژوهش هم، چنین نتایجی بدست آمد. همینطور با افزایش تعداد وقوع اختلال، بازدهی زمانی زمانبندی مجدد نسبت به زمانبندی اولیه کاهش، و انحراف از زمانبندی اولیه افزایش می یابد که در این پژوهش، نتایج حاصل، این امر را تایید می کند.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

برای پاسخ به عدم قطعیت و وقفه‌ها در یک سیستم تولیدی، باید برنامه زمانبندی را به‌روز رسانی کرد. روشهای زمانبندی مجدد مرسوم، برای رفع نیاز مشتریان و بالا بردن سرعت تولید، معمولا با تابع هدف زمان‌محور اجرا شده‌اند. در این پژوهش نیز، کوشش شده است با در نظر گرفتن محدودیت منبع زمان، برای اجرای عملیات موجود، در صورت وقوع مشکلات کیفیت و دوباره کاری، برنامه زمانبندی را به‌روزرسانی نماییم. برای رسیدن به این اهداف، مسائل ذیل در این پژوهش توضیح داده شده اند:

- در آغاز تابع هدف را تعریف نمودیم، تابع هدف در این پژوهش کمینه کردن زمان تکمیل سفارشها تعریف شده است.
- سپس، روش زمان‌محور زمان‌بندی مجدد را برای تولید یک برنامه زمانبندی جدید، بر پایه الگوریتم ابتکاری جستجوی پرتو تصفیه شده، ارائه کردیم.
- یک آزمون برای اجرای این متدولوژی طراحی شد، تا نتایج بدست آمده از روش تصریح شده را مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصل از آن را ارزیابی نماییم.

خروجی این روش، یک متد زمان‌محور برای تولید یک برنامه زمانی مجدد، در هنگام وقوع اختلالات کیفیت و دوباره کاری، در یک محیط تولیدی انعطاف پذیر است.

۵-۲ مروری بر فصلهای پیشین

در فصل اول از این پژوهش، کلیتی پیرامون جایگاه مسئله زمان‌بندی در مدیریت عملیات ارائه شد. توضیحاتی پیرامون اهمیت سرعت تولید و در نتیجه آن، لزوم برنامه‌ریزی برای منابع موجود ارائه گردید و جایگاه زمانبندی به عنوان زیرمجموعه ای از برنامه ریزی برای مدیریت منبع محدود زمان، تصریح شد. محدودیت های زمانبندی در سیستم های تولیدی اجمالا مطرح گردید، و عنوان شد که هر سیستم تولیدی، بسته به ساختار خط تولید، محدودیتهای خاص خود را برای مدلسازی مسئله زمانبندی

داراست. سپس با تبیین طبیعت پویای سیستم تولید، لزوم به‌روزرسانی زمانبندی مطرح شد. لذا زمانبندی مجدد در خط تولید چند مدله به عنوان موضوع این پژوهش، اعلام گردید. در ادامه فصل اهدافی که این پژوهش دنبال می‌کند و همچنین فرضیاتی که به دنبال پاسخ‌گویی به آن‌ها است، ارائه گردید.

در فصل دوم که مربوط به ادبیات نظری و پیشینه زمانبندی مجدد بود در ابتدا اجمالا سیستم تولیدی انعطاف پذیر و عدم قطعیت و عوامل زمانبندی مجدد تشریح شد، و در ادامه پیشینه ای در مورد متدهای زمانبندی مجدد اعم از زمانبندی مجدد جامع، جزئی، و RSR ارائه شد. سپس توضیحاتی پیرامون معیارها و شاخصهای تعریف شده برای بررسی و مقایسه زمانبندی که در ادبیات موضوع زمانبندی آمده است، داده شد.

فصل سوم با عنوان الگوسازی و روش پژوهش اختصاص به متغیرهای استفاده شده در پژوهش داشت. این متغیرها با استفاده از ادبیات موجود و مطالعات پیشین ذکر شده در فصل دوم، انتخاب شده اند. در این بخش به معرفی و توضیح الگوریتم جستجوی پرتو تصفیه شده و کاربرد آن برای حل مسئله زمانبندی مجدد پرداختیم. سپس با یک مثال، به تشریح مسئله در مقیاس کوچک پرداختیم. در نهایت آزمونی که برای بررسی نتایج در مقیاس بزرگتر طراحی کردیم را تشریح نمودیم.

در فصل چهارم، آزمونی که طراحی شد را با برنامه کامپیوتری اجرا کردیم و مجموعه پاسخهای بدست آمده را مورد بررسی و تحلیل قرار دادیم. ابتدا اندازه های بدست آمده از هر شاخص را در آزمایشهایی که برای هر یک از شرایط بروز اختلال دوباره کاری بدست آمد، ارائه نموده و آنها را یک به یک، تحلیل نمودیم. در ادامه به تحلیل حساسیت پارامترهای موجود در تابع، با نتایج بدست آمده پرداختیم.

۵-۳ نتایج کلی

پس از تجزیه و تحلیل داده های آزمون، به نتایج ذیل دست یافتیم:

- استفاده از متدولوژی ارائه شده برای زمانبندی مجدد در یک سیستم تولیدی چند مدله که متاثر از اختلال دوباره کاری شده است، با استفاده از الگوریتم جستجوی پرتو تصفیه شده (FBS)، نتایج قابل قبولی بر اساس بازدهی زمانی و پایداری زمانبندی بدست می دهد.
- برای اختلالات دوباره کاری که خیلی زود در سیستم اتفاق می افتند، برنامه زمانبندی مجدد حاصل از این روش، پایداری کمتری نسبت به زمانبندی که دیر دچار اختلال دوباره کاری می‌شوند، خواهد داشت.
- با افزایش انعطاف پذیری در سیستم، میتوان بازدهی زمانی برنامه زمانبندی را افزایش داد. در مواردی که اختلال دوباره کاری، عملیاتی را که در ماشین آلات مختلف قابل اجرا هستند، متاثر نمود، زمانبندی مجدد با زمان تکمیل کمتری قابل حصول است.
- زمانبندی مجدد با روش FBS تحت تاثیر اختلال دوباره کاری، مخصوصا در مواردی که عملیاتی که باید دوباره تکرار شود، زمان پردازش طولانی تری داشته باشد، بازدهی زمانی بسیار مناسبتری نسبت به روش RSR داراست، حالا آنکه پایداری زمانبندی مجدد نسبت به روش RSR بهبود چندانی نخواهد داشت.

۵-۴ پاسخ به سوالات پژوهش

در فصل اول مجموعه سوالاتی را مطرح کردیم که حالا پاسخ به این سوالات را در ادامه می‌آوریم:

- اختلال دوباره کاری چه تاثیری بر برنامه زمانبندی خواهد گذاشت؟

آزمونهای مختلفی تحت شرایط متفاوتی برای اجرای زمانبندی مجدد در اثر اختلال دوباره‌کاری پیاده کردیم. مشخص شد زمان وقوع اختلال و دامنه یا تعداد اختلالات در سیستم در نتایج زمانبندی مجدد تاثیر دارند. وقوع اختلال دوباره کاری بازدهی زمانبندی مجدد را نسبت به زمانبندی اولیه کاهش می دهد. همچنین پایداری و استحکام زمانبندی بر اثر وقوع اختلال دوباره کاری کاهش می‌یابد. چگونگی تغییرات بازدهی زمانی و پایداری زمانبندی بسته به زمان وقوع اختلال و تعداد دفعات بروز اختلال تغییر میکند.

- مسأله زمانبندی مجدد در یک خط تولید چند مدله با توابع هدف مختلف چه تاثیر متفاوت خواهد داشت؟

در این پژوهش مساله را با سه تابع هدف متفاوت بررسی کردیم. توابع بازدهی زمانی زمان تکمیل، پایداری و دیرکرد برای زمانبندی مجدد بررسی شد. نتایج زمانبندی مجدد با در نظر گرفتن هرکدام از توابع هدف مختلف، متفاوت است. لذا انتخاب تابع هدف، در نتیجه نهایی زمانبندی مجدد تاثیرگذار است.

- چه متغیرهایی بر زمانبندی مجدد در اثر اختلال زمانبندی مجدد تاثیرگذارند؟

بسته به مدل در نظر گرفته شده برای زمانبندی مجدد سیستم، متغیرهای مختلفی می توانند در زمانبندی مجدد تاثیر بگذارند. در این پژوهش نشان دادیم زمان وقوع اختلال[1] و تعداد وقوع اختلال در زمانبندی مجدد تاثیر می‌گذارد.

- تاثیر متغیرهای موثر بر زمانبندی مجدد، چگونه است؟

[1] Time of Disruption

همانطور که قبلا گفته شد، زمان وقوع اختلال و تعداد وقوع اختلال در زمانبندی مجدد تاثیر می‌گذارد. هرچه زمان وقوع اختلال زودتر باشد، بازدهی زمانبندی مجدد بالاتر و انحراف از زمانبندی اولیه بیشتر خواهد بود.

همچنین تعداد وقوع اختلال در سیستم بر نتایج زمانبندی مجدد اثرگذار خواهند بود. هرچه تعداد وقوع اختلال بیشتر باشد، انحراف از زمانبندی اولیه بیشتر و بازدهی زمانی کمتر می شود. [12]

۵-۵ پیشنهادات

۵-۵-۱ پیشنهادات برای سایر محققین

بحث اهمیت بالا بردن سرعت تولید و تاثیر آن در هزینه ها و عملکرد سیستم تولیدی، زمینه‌ساز انجام این پژوهش بود، بنابراین با توجه به نتایج، پیشنهاداتی در این بخش برای انجام پژوهش‌های جدید ارائه شده است؛

۱. محققان پیش از اجرای این پژوهش، اختلالاتی از قبیل رسیدن سفارش جدید، لغو سفارش قبلی و خرابی ماشین آلات را برای زمانبندی مجدد مدلسازی کرده اند. در این پژوهش به مدلسازی عامل دوباره کاری پرداختیم، محققان در آینده می توانند سناریوهای دیگری را برای زمانبندی مجدد بررسی نمایند.
۲. زمانبندی مجدد در اثر وقوع همزمان این اختلالات نیز، یکی از موضوعاتی است که می‌توان در مورد آن تحقیق نمود.
۳. تابع هدف زمان تکمیل، که در این پژوهش، در نظر گرفته شده است، از ابتدایی ترین توابع هدف در حل مسائل زمانبندی است، محققان در آینده می توانند توابع جدیدی را مطابق با اولویتهای محیط واقعی، با پارامترهایی از قبیل هزینه، دیرکرد، حجم کاری ماشین آلات و ...

بررسی کنند و یا با توجه به اهمیت هرکدام از پارامترها توابع وزنی و یا درجه دوم از این پارامترها را تشکیل داده و به عنوان تابع هدف برای ارزیابی مجموعه جوابها به کار برند.

۴. در این پژوهش، هیچگونه تلرانسی برای زمانبندی در نظر گرفته نشده بود، پژوهشگران می‌توانند در آینده، اثر قرار دادن اسلک[1] را در زمانبندی مجدد، بررسی کنند و تاثیرات آن را بر انعطاف‌پذیری و بازدهی زمانی بررسی کنند.

۵. فرض ما در این پژوهش این بود که در صورت وقوع اختلالات کیفی و دوباره کاری، عملیات مختلف اگرچه از توالی خاصی پیروی می‌کنند اما از یکدیگر استقلال دارند؛ اما در محیط واقعی، گاهی عملیات قبلی در توالی زمانی، قابل استفاده نیستند و اختلالات کیفیت بر عملیات دیگر هم تاثیر می‌گذارند. در جهت مقابل، گاهی مشکلات کیفیت، صرفا با تعمیر و اصلاح رفع می‌شوند و زمان پردازش آنها متفاوت از زمان پردازش اجرای دوباره کار می‌باشد، لذا می توان در پژوهش‌های بعدی، برای نزدیک کردن مدل به محیط واقعی، این شرایط را هم اعمال نمود.

۶. محققان می توانند زمانبندی مجدد در صورت وقوع اختلال دوباره کاری را با متدهای دیگری حل نموده و پاسخ را با متدولوژی الگوریتم جستجوی پرتو تصفیه شده، حاصل از این پژوهش مقایسه کنند.

۷. روشی که برای زمانبندی مجدد در این پژوهش، استفاده شد مبتنی بر زمانبندی مجدد جامع (TR) بود. پژوهشگران در پژوهش های پیش رو می توانند از زمانبندی مجدد اصلاحی (repair) استفاده نمایند.

۵-۵-۲ پیشنهادات برای مدیران

از آنجا که هدف اساسی ما به طور کلی بالا بردن سرعت تولید بود، لذا مدیران برای افزایش سرعت تولید در صورت بروز دوباره کاری می توانند از راهکارهای زیر استفاده کنند:

[1] Slack

۱. انعطاف پذیری در سیستم را بالا ببرند، به طوریکه در صورت بروز اختلال، دستگاههای جایگزین بیشتری بتوانند عملیات باقیمانده را اجرا کنند.
۲. از آنجا که مشخصترین نتیجه این بررسی آنست که وقوع اختلال دوباره کاری در مراحل اولیه زمانبندی، موجب کاهش بیشتر بازدهی زمانبندی و انحراف از زمانبندی اولیه به مقدار زیادی می شود، لذا کنترل دقیق و پیشگیری از بروز اختلال در مراحل اولیه اجرای زمانبندی توصیه می‌شود.

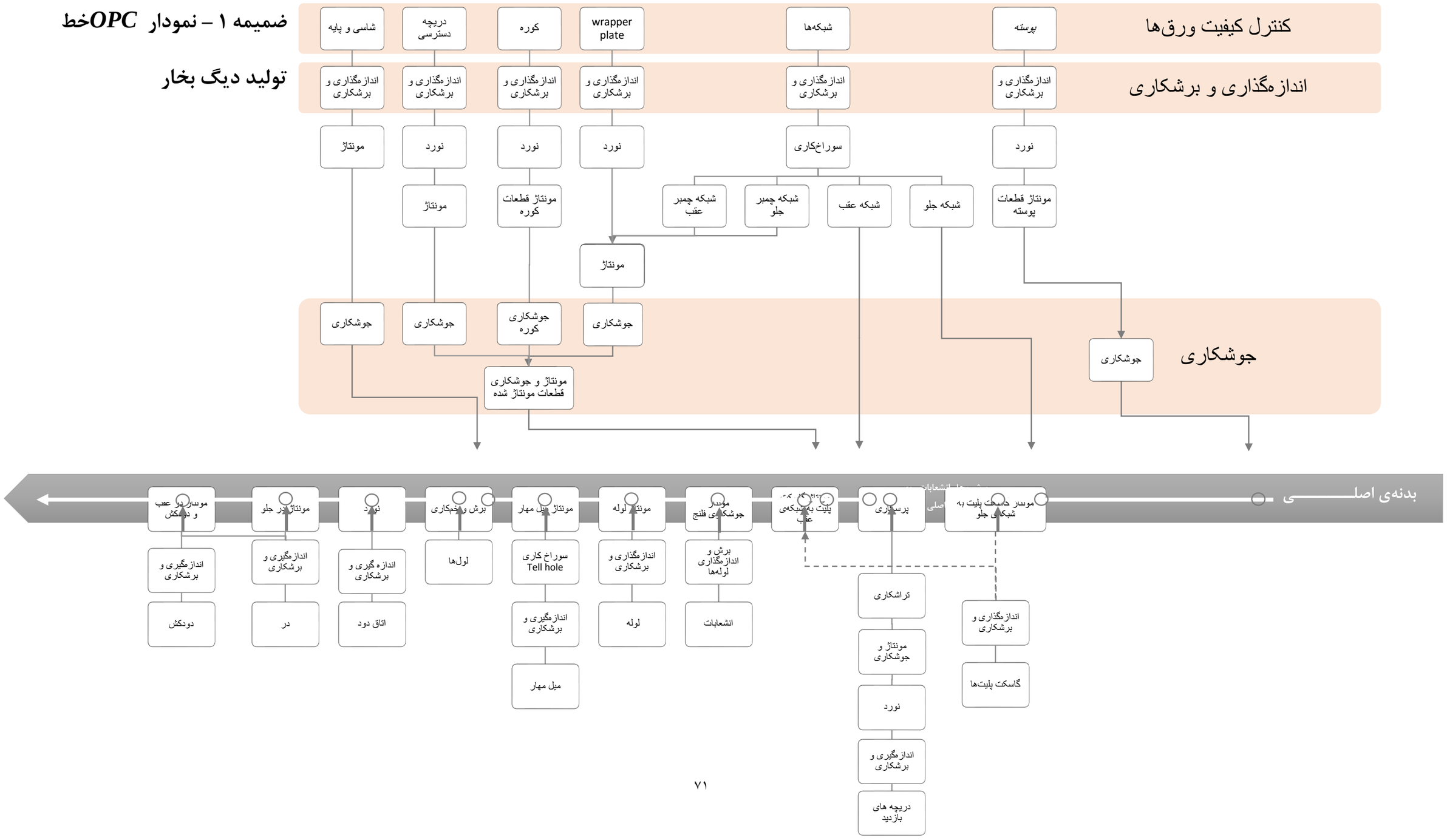
۵-۶ محدودیت ها

برای انجام این پژوهش با مجموعه ای از محدودیتها روبرو بودیم، که موارد ذیل از جمله این محدودیتها تلقی می‌شوند:

۱. حضور در خط تولید در انتظار وقوع اختلال دوباره کاری، زمان خیلی زیادی را میطلبید. لذا مدلسازیها را بر اساس خط تولید انجام دادیم، اما وقوع اختلال را بر اساس اعداد تصادفی در نظر گرفتیم.
۲. به دلیل حجم گسترده هزینه ها، اجرای آزمایش در شرایط واقعی خط تولید، ممکن نبود.
۳. بسیاری از اختلالات متفرقه، از جمله خرابی ماشین، غیبت کارکنان، رسیدن سفارش جدید و ... همزمان با وقوع اختلال دوباره کاری در شرایط واقعی اتفاق می افتند. لذا امکان ایزوله کردن خط تولید، برای اجرای آزمایش ها را نداشتیم.
۴. به دلیل پایین بودن حجم سفارشها، که از مشخصات ذاتی سیستم های تولیدی کارگاهی است، امکان بررسی تعداد زیادی از نمونه ها در مدت زمان کوتاه وجود نداشت.

ضمائم

ضمیمه ۱ – نمودار *OPC* خط تولید دیگ بخار



منابع

[۱] س. م. الوانی و ن. شفیعی, مدیریت تولید, شرکت به نشر (انتشارات آستان قدس رضوی), ۱۳۷۸.

[۲] پ. فتاحی و ف. جولای, "ارائه یک روش ابتکاری برای زمانبندی سیستم های تولید کارگاهی احتمالی," تهران, ۱۳۸۶.

[۳] P. Bruker, J. B و S. B" ,A branch and bound algorithm for job shop scheduling problem ۱۹۹۴ ,۴۹ جلد ",

[۴] C. Gray و M. Hoesada" ,Matching heuristic scheduling rules for job shops to the business sales level ۱۹۹۱ ,۱۷-۱۲ شماره ,۴ جلد ",

[۵] P. Laarhoven, E. Aarts و J. Lenstra" ,Job shop scheduling by simulated annealing ۱۹۹۲ ,۴۰ جلد ",

[۶] E. S. C. Nowicki" ,A fast taboo search algorithm for the job-shop problem ۱۹۹۶ ,۶ شماره ,۴۲ جلد ",

[۷] F. Croce, R. Tadei و G. Volta" ,A genetic algorithm for the job shop problem ۱۹۹۵ ,۱ شماره ,۲۲ جلد ",

[۸] E. Aarts, P. Van Laarhoven, J. Lenstra و N. Ulder“ ,computational study of local search algorithms for job shop scheduling ۱۹۹۴. جلد ۶, ”,

[۹] ف. امیرخانی و ر. صحراییان, “ادغام شبیه سازی و بهینه سازی برای زمانبندی مسأله ی پویای تولید کارگاهی,” تهران, ۱۳۹۱.

[۱۰] S. G. Kang و S. H. Choi, Multi-Agent Based Beam Search for Real-Time Production Scheduling and Control, London: Springer, ۲۰۱۳.

[۱۱] G. E. Viera, J. W. Herrmann و E. Lin“ ,Rescheduling manufacturing systems: a framework of streategies, policies, and methods ”,*Journal of Scheduling* ,۶ جلد ,pp. ۶۲-۳۹ ,۲۰۰۳.

[۱۲] E. Naseri, Cost based rescheduling approach to handle disruptions in flexible manufaturing systems (Master thesis), Montreal: Concordia University, ۲۰۱۰.

[۱۳] D. R. Sule, Production planning and industrail scheduling: examples, case studies, and applications, CRC Press, ۱۹۹۷.

[۱۴] H. H. Huang, W. Pei, H. H. Wu و M. D. May“ ,a research on problems of mixed-line production and the re-scheduling ”,*Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* ۲۰۱۳. جلد ۲۹, ,

[۱۵] I. Sabuncuoglu و O. B. Kizilisik“ ,reactive scheduling in a dynamic and stochastic FMS environment ”,*International journal of Production research* ۲۰۰۳. جلد ۴۱, شماره ۱۷, ,

[۱۶] I. Sabouncuoglu و S. Karabuk“ ,Rescheduling frequency in a FMS with uncertain processing times and unreliable machines ”,*Journal of manufacturing systems* ۱۹۹۹. جلد ۱۸, شماره ۴, ,

[۱۷] V. Subramaniam, A. S. Raheja و B. R. Rama“ ,reactive repair tool for jobshop schedules ”,*International Journal of Production Research* , جلد ۴۳, شماره ۱, ۲۰۰۵.

[۱۸] L. K. Church و R. Uzsoy“ ,Analysis of periodic and event-driven rescheduling policies in dynamic shops ”,*International Journal of Computer Integrated Manufacturing* ۱۹۹۲. جلد ۵, شماره ۳,

[۱۹] M. Yamamoto و S. Y. Nof“ ,scheduling/rescheduling in the manufacturing operating system environment ”,*International Journal of Production Research* ۱۹۸۵. جلد ۲۳, شماره ۴,

[۲۰] I. Sabuncuoglu و G. S“ ,Hedging production schedules against uncertainty in manufacturing environment with a review of rebustness and stability research ”,*International Journal of Computer Integrated Manufacturing* ۲۰۰۹. جلد ۲۲, شماره ۲,

[۲۱] A. S. Raheja و V. Subraaniam“ ,Reactive recovery of job shop schedules - A review ”,*International Journal of Advanced Manufacturing Technology* ۲۰۰۲. جلد ۱۹, شماره ۱۰,

[۲۲] M. T. Jensen“ ,Generating reboust and flexible job shop schedules using genetic algorithms ”,*Evolutionary Computation, IEEE Transactions on* ۲۰۰۳. جلد ۷, شماره ۳,

[۲۳] R. J. Abumaziar و J. A. Svestka“ ,Rescheduling job shops under random disruptions ”,*International Journal of Production Research* , ۱۹۹۷. ,pp. ۲۰۸۲-۲۰۶۵جلد ۳۵, شماره ۷,

[۲۴] R. A. S. Subramaniam V“ ,mAOR: A heuristic-based reactive repair mechanism for job shop schedules ”,*International Journal of Advanced Manufacturing Technology* ,pp. ۶۸۰-۶۶۹, جلد ۲۳, شماره ۹, ۲۰۰۳.

[۲۵] W. Shi-jin, X. Li-feng و Z. Bing-hai“ ,Filtered-beam-search-based algorithm for dynamic rescheduling in FMS ”,*Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* ,pp. ۴۶۸-۴۵۷, جلد ۲۳, ۲۰۰۷.

[۲۶] C. Y. Low, Y. L. Yip و T. H. Wu“ ,Modeling and heuristics of FMS scheduling with multiple objectives ”,*Computers and Operation Research* ,۳ شماره ,۳۳ جلد ,pp. ۶۹۴-۶۷۴, ۲۰۰۶.

[۲۷] M. H. Han, K. N. Yoon و L. Hogg G“ ,Real-time tool control and job dispatching in flexible manufacturing systems ”,*International Journal of Production Research* ,۸ شماره ,۲۷ جلد ,pp. ۶۷-۱۲۵۷, ۱۹۸۹.

[۲۸] H. J, K. Leong, S. D و P. Ward“ ,Scheduling approaches for random job shop flexible manufacturing systems ”,*International Journal of Production Research* ,۵ شماره ,۲۹ جلد ,pp. ۶۷-۱۰۵۳, ۱۹۹۱.

[۲۹] A. Caumond, P. Lacomme, A. Moukrim و N. Tchernev“ ,An MILP for scheduling problems in an FMS with one vehicle ”,*European Journal of Operational Research* ,۳ شماره ,۱۹۹ جلد ,pp. ۲۲-۷۰۶, ۲۰۰۹.

[۳۰] J. J. Blackstone, D. T. Phillips و G. L. Hogg“ ,A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations ”, *International Journal of Production Research* ۱۹۸۲. ,۱ شماره ,۲۰ جلد ,

[۳۱] Stecke, E. K و J. J. Solberg“ ,Loading and control policies for a flexible manufacturing system ”,*International Journal of Production Research* ,۵ شماره ,۱۹ جلد ,pp. ۹۰-۴۸۱, ۱۹۸۱.

[۳۲] N. Ishii و J. J. Talavage“ ,A transient-based real-time scheduling algorithm in FMS ”,*International Journal of Production Research* جلد , ,۱۲ شماره ,۲۹pp. ۲۰-۲۵۰۱, ۱۹۹۱.

[۳۳] H. K. Min و Y. D. Kim“ ,Simulation-based real-time scheduling in a flexible manufacturing system ”,*Journal of Manufacturing Systems* , ,۲ شماره ,۱۳جلد pp. ۹۳-۸۵, ۱۹۹۴.

[۳۴] F. T. S. Chan, H. K. Chan, H. C. W. Lau و R. W. L. Ip“ ,Analysis of dynamic dispatching rules for a flexible manufacturing system ”,

Journal of Materials Processing Technology ,۳-۱ شماره ,۱۳۸ جلد ,pp. ۳۱-۳۲۵, .۲۰۰۳

[۳۵] P. Brandimarte“ ,Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu search ”,*Annals of Operations Research* ,۴-۱ شماره ,۴۱ جلد ,pp. ۸۳-۱۵۷, .۱۹۹۳

[۳۶] S. Dauzere-Peres و J. Paulli“ ,An integrated approach for modeling and solving the general multiprocessor job-shop scheduling problem using tabu search ”,*Annals of Operations Research* ,۷۰ جلد ,pp. -۲۸۱ ۳۰۶, .۱۹۹۷

[۳۷] Y. Honghong و W. Zhiming“ ,The application of adaptive genetic algorithms in FMS dynamic rescheduling ”,*International Journal of Computer Integrated Manufacturing* ,۶ شماره ,۱۶ جلد ,pp. ۹۷-۳۸۲, .۲۰۰۳

[۳۸] A. K. Jain و H. A. Elmaraghy“ ,Production scheduling/rescheduling in flexible ”,*International Journal of Production Research* ,۱ شماره ,۳۵ جلد , pp. ۳۰۹-۲۸۱, .۱۹۹۷

[۳۹] N. M. Najid, S. Dauzere-Peres و A. Zaidat“ ,A modified simulated annealing method for flexible job shop scheduling problem در ”,*IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* ,Yasmine Hammamet, .۲۰۰۲

[۴۰] W. Xia و Z. Wu“ ,An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems ”,*Computers & Industrial Engineering* ,۲ شماره ,۴۸ جلد ,pp. ۲۵-۴۰۹, .۲۰۰۵

[۴۱] P. S. Ow و T. E. Morton“ ,Filtered beam search in scheduling ”, *International Journal of Production Research* ,۱ شماره ,۲۶ جلد ,pp. -۳۵ ۶۲, .۱۹۸۸

[۴۲] S. De و A. Lee“ ,Flexible manufacturing system (FMS) scheduling using filtered beam search ”,*Journal of Intelligent Manufacturing* , ۱۹۹۰. ,۱۶۵-۸۳ .ppجلد ۳, شماره ۱,

[۴۳] I. Sabuncuoglu و S. Karabuk“ ,A beam search-based algorithm and evaluation of scheduling approaches for flexible manufacturing systems ”,*HE Transactions* ,۲ شماره ,۳۰ جلد ,pp. ۹۱-۱۷۹, ۱۹۹۸.

[۴۴] J. C. Bean, J. R. Birge, J. Mittenthal و C. E. Noon“ ,Matchup scheduling with multiple resources, release dates and disruptions ”,*Operations research* ,۳ شماره ,۳۹ جلد ,.p. ۴۷۰, ۱۹۹۱.

[۴۵] M. S. Akturk و E. Gorgulu“ ,Match-up scheduling under a machine breakdown ”,*European Journal of Operational Research* ,۱۱۲ جلد ,. ,۱ شماره .ppشماره ۱, ۱۹۹۹. ,۹۷-۸۱

[۴۶] R. Li, Y. Shyu و S. Adiga“ ,Heuristic rescheduling algorithm for computer-based production scheduling systems ”,*International Journal of Production Research* ,۸ شماره ,۳۱ جلد ,pp. ۱۸۲۶-۱۸۱۵, ۱۹۹۳.

[۴۷] J. S. W. C. Mason SJ“ ,Rescheduling strategies for minimizing total weighted tardiness in complex job shops ”,*International Journal of Production Research* ,۳ شماره ,۴۲ جلد ,pp. ۶۲۸-۶۱۳, ۲۰۰۴.

[۴۸] R. Shafaei و P. Brunn“ ,Workshop scheduling using practical (inaccurate) data - Part ۱:The performance of heuristic scheduling rules in a dynamic job shop environment using a rolling time horizon approach ”,*International Journal of Production Research* ,۳۷ جلد ,شماره , ,۱۷pp. ۳۹۲۵-۳۹۱۳, ۱۹۹۹.

[۴۹] D. J. Hoitomt, P. B. Luh و K. R. Pattipati“ ,Practical approach to job-shop scheduling problems ”,*IEEE Transactions on Robotics and Automation* ,۱ شماره ,۹ جلد ,pp. ۱۳-۱, ۱۹۹۹.

[۵۰] S. A. Fahmy, S. Balakrishnan و T. Y. Elmekkawy“ ,A generic deadlock-free reactive scheduling approach ”,*International Journal of Production Research* ,۲۰ شماره ,۴۷ جلد ,pp. ۵۶۷۶-۵۶۵۷, ۲۰۰۹.

[۵۱] Y. Sotskov, N. Sotskova و F. Werner“ ,Stability of an optimal schedule in a job shop ”,*Omega* ,۴ شماره ,۲۵ جلد ,pp. ۴۱۴-۳۹۷, ۱۹۹۷.

[۵۲] V. J. Leon, S. D. Wu و R. H. Storer“ ,Robustness measures and robust scheduling for job shops ”,*HE Transactions* ,۵ شماره ,۲۶ جلد ,pp. ۴۳-۳۶, ۱۹۹۴.

[۵۳] R. L. Daniels و P. Kouvelis“ ,Robust scheduling to hedge against processing time uncertainty in single-stage production ”, *Management Science* ,۲ شماره ,۴۱ جلد ,pp. ۷۶-۳۶۳, ۱۹۹۵.

[۵۴] H. J. L. E. Viera GE“ ,Reschaduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies, and methods ”,*journal of scheduling* ,pp. ۶۲-۳۹, ۲۰۰۳; ۶(۱).

[۵۵] G. M. Kopanos, E. Capon-Garcia, A. Espuna و L. Puigjaner“ ,Costs for rescheduling actions: A critical issue for reducing the gap between scheduling theory and practice ”,*Industrial and Engineering Chemistry Research* ,۲۲ شماره ,۴۷ جلد ,pp. ۸۷۹۵-۸۷۸۵, ۲۰۰۸.

[۵۶] I. Sabuncuoglu و M. Bayiz“ ,Job shop scheduling with beam search ”, *European Journal of Operational Research* ,۲ شماره ,۱۱۸ جلد ,pp. -۳۹۰ ۴۱۲, ۱۹۹۹.

[۵۷] K. R. Baker, Introduction to sequencing and scheduling, Sussex: Wiley, ۱۹۷۴.

Abstract

Due to dynamic environment of the real manufacturing systems, some types of unexpected events may occur which affect scheduling plans as the result. This fact makes rescheduling necessary in order to respond to the probable disruptions to increase production rate we should update scheduling continuously.
In the present study, we tried to use FBS method to reschedule a mixed-line model manufacturing system affected by Quality problems or rework to improve time efficiency.

Keywords:

Rescheduling, dynamic Rescheduling, scheduling, mixed line model, flexible manufacturing system

Shahrood University of Technology

Faculty of management and Industrial Engineering

Dynamic Rescheduling in a Mixed-line Model Manufacturing System Affected by Rework Disruption

Masoud Mahdavi

Supervisor:

Dr. Saeed Hakami-Nasab Ahmad Abadi

February 2016