دانشکده فنی مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع

مدل‌سازی زمان‌بندی جریان کارگاهی ترکیبی با در نظر گرفتن دوباره‌کاری و زمان‌های آماده‌سازی

نگارنده

سید امیر حامد حسین زاده امیری

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا اسکندری

پاییز ۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای سیدامیر حامد حسین زاده امیری پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان **مدل سازی زمان بندی جریان کارگاهی ترکیبی با درنظر گرفتن دوباره کاری ،زمان های اماده سازی** در تاریخ ۱۳۹۱/۹/۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - مهندسی صنایع پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر حمید رضا اسکندری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سید حسام الدین ذگردی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید کمال چهارسوقی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ناصر سلماسی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سید حسام الدین ذگردی	دانشیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب سید امیر جعفر [illegible] دانشجوی رشته مهندسی صنایع ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۹ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضاء .....

تاریخ: ۹۲/۹/۱۹

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی صنایع است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر سید رضا اسکندری ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سید امیرحامد حسن زاده امیری دانشجوی رشته مهندسی صنایع مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سید امیرحامد حسن زاده امیری

تاریخ و امضا: ۹۱/۹/۱۹

تقدیم به مادر مهربان و پدر فداکارم

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان‌نامه را به پایان برسانم. از استاد عزیز و گرانقدرم، جناب آقای دکتر حمیدرضا اسکندری به عنوان استاد راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده‌اند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

مدل جریان کارگاهی ترکیبی از جمله مدل هایی است که در چند دهه گذشته مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مدل جریان کارگاهی ترکیبی حالت تعمیم یافته مدل جریان کارگاهی کلاسیک است و شامل دو یا چند مرحله پردازش به صورت سری می‌باشد که در هر مرحله یک یا چند ماشین به صورت موازی وجود دارد. در این مطالعه نخست به بررسی مدل‌های گوناگون جریان کارگاهی ترکیبی پرداخته می‌شود. پس از مرور تفصیلی پیشینه تحقیق، مسئله زمان‌بندی جریان کارگاهی ترکیبی با دوباره‌کاری برای کارها و زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی درنظر گرفته شده است.

در مسئله تحقیق، کارها در ایستگاه آخر بازرسی شده و کارهای معیوب بازمی‌گردند و مجدداً پردازش می‌گردند. بنابراین یک کار ممکن است بیش از یک مرتبه در یک ایستگاه قرار گیرد و لذا کارها دارای جریان بازگشتی هستند. هدف تخصیص کارها به ماشین‌ها و ایجاد توالی برای کارهای تخصیص داده شده است به‌گونه‌ای که بیشینه زمان تکمیل کارها کمینه گردد. نخست یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله ارائه شده است. اما از آنجا که مسئله تحقیق NP-hard است دسترسی به جواب‌های بهینه در زمان‌های منطقی امکان‌پذیر نیست. چند الگوریتم ابتکاری بر اساس قواعد تصمیم‌گیری پایه برای مسئله ارائه شده است. سپس الگوریتم فراابتکاری روش جستجوی همسایگی متغیر برای مسئله تحقیق بسط داده شده است. برای ارزیابی روش‌های پیشنهادی چندین مسئله نمونه به صورت تصادفی تولید و با استفاده از روش‌های پیشنهادی حل گردید. نتایج آزمایشات حاکی از آن است که روش جستجوی همسایگی متغیر توانسته به جواب‌های بهتری دست یابد.

کلید واژه : مدل جریان کارگاهی ترکیبی؛ دوباره‌کاری؛ روش‌های ابتکاری؛ روش جستجوی همسایگی متغیر؛ مدل ریاضی

فهرست مطالب

فصل ۱: معرفی کلیات ۱

۱-۱. مقدمه ۱

۱-۲. تعریف مسئله ۲

۱-۲-۱. مدل جریان کارگاهی ۳

۱-۲-۱-۱. فرضیات مدل جریان کارگاهی استاندارد ۵

۱-۲-۲. مدل جریان کارگاهی ترکیبی ۵

۱-۲-۲-۱. مفروضات مدل جریان کارگاهی ترکیبی در حالت استاندارد ۶

۱-۲-۲-۲. نمایش مسئله جریان کارگاهی ترکیبی ۸

۱-۳. اهمیت موضوع ۱۳

۱-۴.اهداف مطالعه ۱۴

۱-۵. تاریخچه موضوع ۱۴

۱-۶. طرح کلی گزارش ۱۴

۱-۷. علائم و اختصارات ۱۵

۱-۸ . خلاصه فصل ۱۶

فصل ۲: مروری تفصیلی بر پیشینه تحقیق ۱۷

۲-۱. مقدمه ۱۷

۲-۲. مشخصات ماشین ۱۹

۲-۲-۱. ماشین‌های موازی یکسان ۱۹

۲-۲-۲. ماشین‌های موازی یکنواخت ۲۱

۲-۲-۳. ماشین‌های موازی نامرتبط ۲۱

۲-۳. محدودیت کارها ۲۳

۲-۴. معیار عملکرد ۲۷

۲-۵. روش های حل ۲۸

۲-۶. جریان کارگاهی ترکیبی با دوباره‌کاری و زمان‌های آماده‌سازی ۲۹

۲-۷. خلاصه فصل ۳۱

فصل ۳: شرح مسئله و برنامه‌ریزی ریاضی ۳۳

۳-۱. مقدمه ۳۳

۳-۲. شرح مسئله تحقیق ۳۳

۳-۳. مدل‌سازی ریاضی ۳۶

۳-۳. خلاصه فصل ۴۲

فصل ۴: رویکرد حل مسئله ۴۳

۴-۱. مقدمه ۴۳

۴-۲. الگوریتم‌های سازنده ۴۵

۴-۳. روش فراابتکاری ۴۷

۴-۳-۱. جستجوی همسایگی متغیر ۴۸

۴-۳-۱-۱. نمایش جواب ۴۹

۴-۳-۱-۲. ساختار همسایگی ۵۰

۴-۴. خلاصه فصل ۵۱

فصل ۵: نتایج محاسباتی ۵۳

۵-۱. مقدمه ۵۳

۵-۲. محاسبه تابع هدف ۵۴

۵-۳. نتایج آزمایشات ۵۶

۵-۴. مقایسه روش جستجوی همسایگی متغیر و جواب‌های بهینه ۶۱

۵-۵. خلاصه فصل ۶۲

فصل ۶: نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۶۴

۶-۱. مقدمه ۶۴

۶-۲. خلاصه انجام کار و مروری بر فصل‌های گذشته ۶۵

۶-۳. پیشنهاد تحقیقات آتی ۶۶

۶-۴. خلاصه فصل ۶۶

مراجع ۶۷

فهرست شکل ها و جداول

شکل ۱- ۱. ساختار اولویت یک کار در مدل جریان کارگاهی (Baker and Trietsch, 2009) ۳
شکل ۱- ۲. جریان کار در مدل جریان کارگاهی استاندارد (Baker and Trietsch, 2009) ۴
شکل ۱- ۳. جریان کار در مدل عمومی‌تر جریان کارگاهی (Baker and Trietsch, 2009) ۴
شکل ۱- ۴. جریان کار در مدل جریان کارگاهی ترکیبی (Baker and Trietsch, 2009) ۶
جدول ۱- ۱. توابع هدف رایج در جریان کارگاهی ترکیبی (Ruiz and Vazquez-Rodriguez, 2010) ۱۲
شکل ۱- ۵. روند رو به رشد تعداد مقالات چاپ شده (Ruiz and Vazquez-Rodriguez, 2010) ۱۳
جدول ۲- ۱. درصد تعداد مقالات بر اساس نوع ماشین (Ruiz and Vazquez-Rodriguez, 2010) ۲۳
شکل ۲- ۱. درصد استفاده از معیارهای عملکرد در مقالات(Ruiz and Vazquez-Rodriguez, 2010) ۲۸
شکل ۲- ۲. درصد استفاده از روش‌های حل در مقالات(Ruiz and Vazquez-Rodriguez, 2010) ۲۹
شکل ۳- ۱. روند جریان کارها در مسئله نوع اول ۳۴
شکل ۳- ۲. روند جریان کارها در مسئله نوع دوم ۳۵
جدول ۳- ۱. تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری در مدل ریاضی ۳۹
جدول ۳- ۲. تعداد محدودیت‌ها در مدل ریاضی ۴۰
جدول ۳- ۳. نتایج حل مسائل کوچک با استفاده از نرم‌افزار CPLEX ۴۱
جدول ۳- ۴. داده‌های اولیه برای مسئله عددی ۴۱
شکل ۳- ۳. نمودار گانت برای جواب بهینه مسئله ۴ کار و ۲ مرحله پردازش ۴۲
شکل ۴- ۱. نحوه نمایش جواب در کارگاه با سه مرحله پردازش و پنج ماشین ۴۹
جدول ۴- ۱. قواعد تصمیم‌گیری ۵۰
شکل ۵- ۱. نمودار درصد خطا به ازای تعداد تکرارها ۵۵
جدول ۵- ۱. عملکرد الگوریتم‌ها برای کارگاه نوع اول ۵۷
جدول ۵- ۲. عملکرد الگوریتم‌ها برای کارگاه نوع دوم ۵۸
جدول ۵- ۳. میانگین شاخص انحراف نسبی هر الگوریتم ۵۹
شکل ۵- ۲. مقایسه عملکرد روش VNSp و VNSq در کارگاه نوع اول ۶۰
شکل ۵- ۳. مقایسه عملکرد روش VNSp و VNSq در کارگاه نوع اول ۶۰
جدول ۵- ۴. مقایسه روش جستجوی همسایگی متغیر با جواب‌های بهینه ۶۲

فصل ۱: معرفی کلیات

۱-۱. مقدمه

امروزه تمامی سیستم‌ها برای انجام فعالیت‌های خود از یک برنامه زمانی جامع و دقیق استفاده می‌نمایند تا بازده خود را افزایش دهند. زمان‌بندی[1] یک فرآیند تصمیم‌گیری است که به طور معمول در بسیاری از صنایع خدماتی و تولیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. زمان‌بندی با تخصیص منابع به کارها در طول یک بازه زمانی همراه است و هدف آن بهینه نمودن یک یا چند معیار می‌باشد (Pinedo, 2008).

منابع و کارها در یک سازمان می‌توانند اشکال مختلفی داشته باشند. منابع می‌تواند ماشین‌ها در یک کارگاه، باند فرود در فرودگاه، کارکنان یک محل ساختمانی و یا واحدهای پردازش‌کننده در

[1] Scheduling

محیط‌های کامپیوتری باشد و کارها ممکن است عملیات در فرآیند تولید، فرود و پرواز در فرودگاه، مراحل در یک پروژه ساختمانی و یا اجرای یک برنامه کامپیوتری باشد. معیارها نیز می‌تواند شکل‌های متفاوتی داشته باشد. یک معیار می‌تواند کمینه نمودن زمان تکمیل آخرین کار باشد و دیگری کمینه نمودن تعداد کارهایی که پس از موعد تحویل به اتمام می‌رسد.

زمان‌بندی به عنوان یک فرآیند تصمیم‌گیری در اغلب سیستم‌های صنعتی و تولیدی و به طور مشابه در اغلب محیط‌های پردازش اطلاعات نقش مهمی ایفا می‌نماید. زمان‌بندی همچنین در تنظیمات حمل و نقل و توزیع و دیگر صنایع خدماتی نقش پررنگی دارد (Pinedo, 2008).

تأثیر برنامه زمانی بر معیار مورد نظر شاید در ابتدا به روشنی مشخص نباشد و این سوال به ذهن خطور کند که آیا صرف وقت و تلاش برای جستجوی یک برنامه زمانی مناسب و پرهیز از انتخاب یک برنامه زمانی به صورت تصادفی دارای ارزش است؟ در حقیقت در اکثر اوقات انتخاب نوع برنامه زمانی تأثیر بسزایی بر عملکرد سیستم خواهد داشت. بنابراین صرف وقت و تلاش برای جستجوی یک برنامه زمانی مناسب بسیار سودمند خواهد بود.

مسائل زمان‌بندی از نظر ساختار و اجرا می‌تواند بسیار پیچده باشد. نوع پیچیدگی که در ساختار مسائل زمان‌بندی وجود دارد همانند پیچیدگی[1] سایر مسائل بهینه‌سازی ترکیبی و مدل‌های احتمالی است اما از نقطه نظر اجرا دارای پیچیدگی متفاوتی می‌باشد که به دقت مدل مورد استفاده برای تحلیل مسئله زمان‌بندی و قابلیت اطمینان داده‌های ورودی مورد نیاز، مرتبط است.

۱-۲. تعریف مسئله

در زمان‌بندی محیط‌های تولیدی، سفارشات به عنوان کارهای با موعد تحویل در نظر گرفته می‌شود. این کارها به طور معمول در کارگاه بر اساس یک توالی و ترتیب مشخص بر روی ماشین‌ها پردازش می‌گردند. پردازش کارها در صورت مشغول بودن ماشین‌ها ممکن است دچار تأخیر گردد و یا

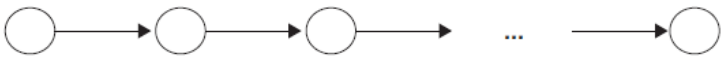
[1] Complexity

به علت ورود کارهای با اولویت بالا به ماشین‌های مشغول، انقطاع روی دهد. رخدادهای پیش‌بینی نشده در کارگاه، همچون خرابی ماشین‌ها و زمان‌های پردازش طولانی‌تر نیز ممکن است اتفاق افتد که همگی آن‌ها بر زمان‌بندی محیط تولیدی تأثیرگذار خواهند بود. در دهه‌های اخیر تحقیقات فراوانی در ارتباط با مدل‌های مختلف زمان‌بندی در این محیط‌ها صورت گرفته است. مسائل زمان‌بندی در محیط‌های تولیدی بر اساس چیدمان[1] منابع، محدودیت‌های تکنولوژی بر روی توالی کارها و محدودیت‌ها و فرضیات کارگاه شکل می‌گیرد.

۱-۲-۱. مدل جریان کارگاهی

در بسیاری از صنایع تولیدی و همچنین در برخی از صنایع خدماتی ماشین‌ها به صورت سری چیدمان یافته‌اند. در این طراحی، جریان کارها از یک ماشین اولیه آغاز گردیده و پس از گذراندن چندین ماشین میانی سرانجام پیش از اتمام در ماشین آخر قرار خواهند گرفت. در پیشینه تحقیق این نوع طراحی به جریان کارگاهی[2] معروف است.

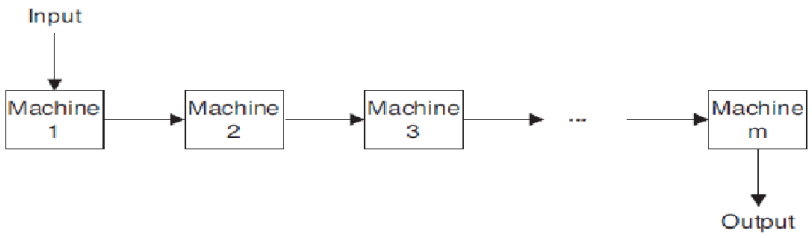
در جریان کارگاهی پردازش بر روی هر کار به چندین فعالیت[3] مجزا تقسیم می‌گردد که عملیات[4] نامیده می‌شود و هر عمل بر روی یک ماشین متفاوت صورت می‌گیرد. بر این اساس یک کار عبارت است از یک مجموعه از عملیات با توالی مشخص. بنابراین همانطور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است، هر عمل پس از عمل آغازین، دارای یک عمل پیشین و هر عمل قبل از آخرین عمل، دارای یک عمل پسین است (Baker and Trietsch, 2009).



شکل ۱- ۱. ساختار اولویت یک کار در مدل جریان کارگاهی (Baker and Trietsch, 2009)

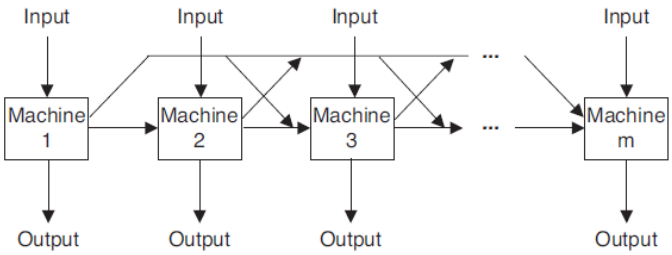
[1] Layout
[2] Flow shop
[3] Task
[4] Operation

کارگاه شامل m ماشین است و در حالت استاندارد جریان کارگاهی، هر کار شامل m عمل است که هر یک نیازمند یک ماشین متفاوت می‌باشد. ماشین‌ها در مدل جریان کارگاهی به صورت ۱، ۲، ...،m و عملیات کار j نیز به صورت (j،۱)، (j،۲)، ...، (j ،m) شماره‌گذاری می‌شود که مرتبط با ماشین مورد نیاز برای هر عمل است. شکل (۱-۲) جریان کار در مدل جریان کارگاهی استاندارد را نمایش می‌دهد که در آن تمامی کارها نیازمند یک عمل بر روی هر ماشین هستند.



شکل ۱- ۲. جریان کار در مدل جریان کارگاهی استاندارد (Baker and Trietsch, 2009)

شکل (۱-۳) نشان دهنده مدل جریان کارگاهی در حالت عمومی‌تر است. در این حالت، کارها ممکن است به کمتر از m عملیات نیازمند باشند و عملیات آن‌ها همیشه نیازمند ماشین‌های مجاور نیست. با این وجود جریان کار همچنان یک سویه خواهد بود و حالت کلی را می توان در غالب مدل استاندارد که در آن زمان برخی از عملیات برابر صفر است نمایش داد.



شکل ۱- ۳. جریان کار در مدل عمومی‌تر جریان کارگاهی (Baker and Trietsch, 2009)

۱-۲-۱-۱. فرضیات مدل جریان کارگاهی استاندارد

در مدل جریان کارگاهی استاندارد فرضیات زیر برقرار است:

- یک مجموعه n تایی از کارهای نامرتبط که همگی چند عملیاتی هستند در لحظه صفر وجود دارد (هر کار نیازمند m عملیات، و هر عمل نیازمند یک ماشین متفاوت است).
- زمان آماده‌سازی عملیات، مستقل از توالی است و به عنوان جزئی از زمان‌های پردازش محاسبه می‌شود.
- کارها و توالی عملیات آن‌ها از قبل مشخص است.
- ماشین‌ها به طور پیوسته در دسترس هستند.
- هنگامی که عملیاتی آغاز می شود بدون انقطاع[۱] ادامه می‌یابد.

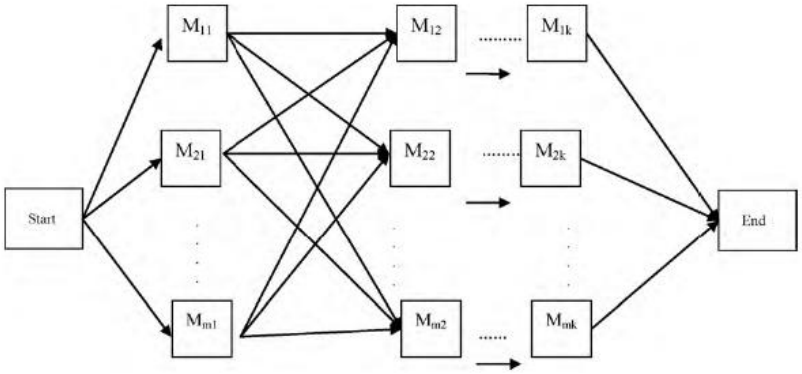
۱-۲-۲. مدل جریان کارگاهی ترکیبی

امروزه در بسیاری از کارخانه‌های تولیدی، نیاز به افزایش ظرفیت و یا ایجاد تعادل در ظرفیت مراحل مختلف مدل جریان کارگاهی سبب شده است از ماشین‌های متعدد در برخی از مراحل استفاده شود. همچنین در برخی از شرکت‌ها به علت افزایش تقاضای یک کالای خاص و یا برای ایجاد بسته‌بندی جدید محصول، نیازمند است در برخی از مراحل ماشین‌های اضافی خریداری شده و به آن محصول تخصیص داده شود. علاوه بر این در برخی مواقع استفاده از ماشین جدید به منظور بهبود کیفیت و یا تولید محصول جدید منجر به صرفنظر کردن از تجهیزات موجود نخواهد شد. بنابراین جهت حصول انعطاف پذیری و یا تعادل ظرفیت ممکن است چندین ماشین متفاوت و یا مشابه در یک مرحله تولیدی خاص قرار گیرد. این نوع توسعه یافته چیدمان تحت عنوان جریان کارگاهی ترکیبی[۲]، جریان کارگاهی با ماشین‌های متعدد،[۳] جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر،[۱] و یا جریان کارگاهی با

[1] Preemption
[2] Hybrid flow shop
[3] Flow shop with multiple machines

ماشین‌های موازی[۲] در پیشینه تحقیق شناخته می‌شود (Ribas et al., 2010). این مسائل از نظر ساختار کارگاه یکسان هستند و در ارتباط با جریان پردازش کارها اندکی تفاوت دارند. از آنجاکه تعاریف متعدد و متناقضی در ادبیات در ارتباط با این مسائل وجود دارد ابتدا در این فصل مسئله زمان‌بندی جریان کارگاهی ترکیبی به طور کامل شرح داده می‌شود و در فصل دوم تفاوت میان مسائل جریان کارگاهی ترکیبی و جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر بیان خواهد شد.

مدل جریان کارگاهی ترکیبی از c مرحله تشکیل شده است. برخی از مراحل می‌تواند تنها شامل یک ماشین باشد اما حداقل یک مرحله می‌بایست دارای بیش از یک ماشین باشد. شکل (۱-۴) مدل استاندارد جریان کارگاهی ترکیبی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ۴. جریان کار در مدل جریان کارگاهی ترکیبی (Baker and Trietsch, 2009)

۱-۲-۲-۱. مفروضات مدل جریان کارگاهی ترکیبی در حالت استاندارد

مفروضات حالت استاندارد مدل جریان کارگاهی ترکیبی به صورت زیر است (Ruiz and Vazquez-Rodriguez, 2010):

- تعداد مراحل پردازش حداقل برابر ۲ است.

[1]Flexible flow shop

[2]Flow shop with parallel machines

- هر مرحله l شامل $M_l \geq 1$ ماشین به صورت موازی است که در حداقل یک مرحله $M_l > 1$ می‌باشد.
- جریان پردازش برای تمامی کارها همانند جریان عمومی تولید است. مرحله ۱، مرحله ۲، ...، مرحله c.
- هر کار j در مرحله l نیاز به زمان پردازش P_{jl} دارد. پردازش کار j در مرحله l به صورت عمل O_{jl} نشان داده می شود.

همچنین در حالت استاندارد تمامی کارها و ماشین‌ها در لحظه صفر در دسترس هستند، ماشین‌ها در هر مرحله یکسان فرض می‌شود، هر ماشین در هر لحظه تنها می‌تواند بر روی یک کار پردازش نماید و هر کار در هر لحظه تنها می‌تواند بر روی یک ماشین پردازش شود، زمان‌های آماده‌سازی ناچیزاند، حق انقطاع وجود ندارد، ظرفیت بافرهای میان مراحل نامحدود در نظر گرفته می‌شود و تمامی داده‌های مسئله قطعی و از قبل مشخص است.

مسئله زمان‌بندی جریان کارگاهی ترکیبی می‌تواند به صورت تعمیم دو نوع خاص از مسائل زمان‌بندی در نظر گرفته شود: مسئله زمان‌بندی ماشین‌های موازی و مسئله زمان‌بندی جریان کارگاهی. هدف نهایی در مسئله ماشین‌های موازی تخصیص کارها به ماشین‌ها است حال آن که در مسئله جریان کارگاهی هدف تعیین توالی کارها در کارگاه می‌باشد. از این‌رو، هنگامی که پیکره مسئله جریان کارگاهی ترکیبی شکل گرفت تصمیم اصلی، تخصیص و ایجاد برنامه زمانی برای کارها در ارتباط با ماشین‌ها خواهد بود. به عبارت دیگر هدف، مشخص نمودن ترتیب پردازش کارها بر روی ماشین‌های هر مرحله با در نظر گرفتن یک یا چند معیار عملکرد است.

در این مطالعه، مسئله جریان کارگاهی ترکیبی با دوباره‌کاری برای کارهای معیوب و زمان‌های آماده‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. دوباره‌کاری را می‌توان تبدیل محصولات معیوب به محصولات قابل استفاده با کیفیت مشابه و یا پایین‌تر توصیف نمود. دوباره‌کاری در حالتی که مواد

اولیه قیمت بالایی دارند و همچنین دسترسی به آن محدود است می‌تواند بسیار مفید باشد. این حالت می‌تواند در بسیاری از صنایع از جمله داروسازی، خودروسازی و صنایع غذایی رخ دهد. همچنین زمان‌های آماده‌سازی در نظر گرفته شده است که مرتبط با توالی کارها است.

۱-۲-۲-۲. نمایش مسئله جریان کارگاهی ترکیبی

اصلاح، حذف و یا افزودن فرضیات و محدودیت‌های جدید به حالت استاندارد مسئله جریان کارگاهی ترکیبی، منجر به ایجاد گونه‌های مختلفی از مسئله خواهد شد. جهت ارجاع به این مسائل از علائم و اختصارات استانداردی استفاده می‌شود که توسط Vignier و Billaut در سال ۱۹۹۹ ارائه شده است (Vignier and Billaut, 1999). مسائل بر اساس نحوه چیدمان و پیکره کارگاه (α)، فرضیات و محدودیت ها (β) و معیار عملکرد مورد نظر (γ) طبقه‌بندی می‌شوند. هر مسئله با علامت سه جزئی $\alpha|\beta|\gamma$ شرح داده می‌شود.

پارامتر α ساختار کارگاه را تعریف می‌نماید که شامل تعداد مراحل و همچنین تعداد و مشخصات ماشین‌ها در هر مرحله است. α از چهار پارامتر α_1، α_2، α_3 و α_4 تشکیل شده است. α_1 بیان کننده حالت کلی کارگاه است که برای مدل جریان کارگاهی ترکیبی با حروف لاتین HF نشان داده می‌شود. α_2 بیانگر تعداد مراحل در کارگاه است. α_3 و α_4 با هم خصوصیات ماشین‌ها را در هر مرحله شرح می‌دهند. نماد $(\alpha_3\alpha_4)^l$ به این معنی است که α_4 ماشین موازی از نوع α_3 در مرحله l قرار دارد. α_3 عضو مجموعه {Ø,P,Q,R} است. P نشان دهنده ماشین‌های موازی یکسان[1]، Q نشان دهنده ماشین‌های موازی یکنواخت[2] و R نشان دهنده ماشین‌های موازی نامرتبط[3] است. در حالتی که تنها یک ماشین در یک مرحله وجود داشته باشد $\alpha_3 = Ø$ خواهد بود.

[1] Identical parallel machines
[2] Uniform parallel machines
[3] Unrelated parallel machines

در قسمت دوم، پارامتر β محدودیت‌ها و فرضیاتی را بیان می‌کند که در مسئله استاندارد وجود ندارد. برای نشان دادن هر فرض یا محدودیت از نمادی خاص استفاده می‌شود که رایج‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از :

r_j نشان دهنده آن است که پردازش کار j نمی‌تواند قبل از زمان آزاد سازی r_j آغاز گردد. اگر این نماد در قسمت β وجود نداشته باشد پردازش کار j می‌تواند در هر زمانی آغاز گردد.

$prmu$ نشان دهنده آن است که ترتیب پردازش کارها در تمامی مراحل یکسان است.

$prec$ نشان دهنده آن است که میان کارها محدودیت اولویت وجود دارد. بدین ترتیب که می‌بایست پردازش یک یا چند کار پیش از آغاز پردازش کاری دیگر پایان یابد.

M_j نشان دهنده آن است که پردازش کار j در مرحله l نمی‌تواند بر روی هر ماشینی صورت گیرد و پردازش آن محدود به مجموعه ماشین‌های M_j خواهد بود. این محدودیت به شایستگی[1] معروف است.

S_{jk} نشان دهنده آن است که زمان‌های آماده‌سازی به توالی عملیات وابسته است. S_{jk} بیان کننده زمان آماده‌سازی میان پردازش کار j و k خواهد بود. اگر این نماد در قسمت β وجود نداشته باشد زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی کارها نخواهد بود و در این حالت به عنوان بخشی از زمان‌های پردازش در نظر گرفته می‌شود.

$prmp$ نشان دهنده آن است که حق انقطاع وجود دارد. بدین ترتیب که پردازش یک کار بر روی یک ماشین، می‌تواند پیش از اتمام، قطع شود و پردازش کار دیگری بر روی آن آغاز گردد.

[1] Eligibility