بهینه سازی جریان کارگاهی چند هدفه با در نظر گرفتن زمان آماده سازی وابسته به توالی

سیده نیلوفر رضوانی

استاد راهنما: دکتر سعیده غلامی

پایان نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

مهندسی صنایع

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بهینه سازی جریان کارگاهی به صورت توابع چند هدفه با در نظر گرفتن زمان آماده سازی وابسته به توالی

سیده نیلوفر رضوانی

استاد راهنما: دکتر سعیده غلامی

استاد مشاور: دکتر رسول شفائی

پایان نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

مهندسی صنایع

شهریور۱۳۹۲

باتشکر و سپاس

از سرکار خانم دکتر سعیده غلامی که در هرچه بهتر ارایه شدن این پروژه مرا صمیمانه یاری نمودند. چرا که بدون راهنماییهای ایشان تامین این پایان نامه بسیار مشکل می‌نمود.

از جناب آقای دکتر شفائی که با راهنمایی‌های ارزشمندشان در تهیه و تنظیم این پروژه به من یاری رساندند.

چکیده

به طور کلی جریان کارگاهی به دو نوع جایگشتی و غیر جایگشتی تقسیم بندی می‌شود. مسئله جریان کارگاهی که درآن ترتیب کارها در همه ماشین‌ها یکی نباشد به مسئله جریان کارگاهی غیر جایگشتی معروف است. جریان کارگاهی غیر جایگشتی انعطاف پذیری بیشتری دارد اما به دلیل پیچیده تر بودن، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است.

در دنیای واقعی امروزی در حوزه‌های مختلف، به دلیل مسائل رقابتی بین تولید کننده‌ها، راضی نگه داشتن مشتری امری مهم اطلاق می‌شود، لذا زمان تحویل، یکی از نکاتی است که به شدت مورد توجه تولید کننده و مشتری قرار می‌گیرد. و چون برای محاسبه سود یک تولید کننده، به زمان تحویل و زمان تاخیر توجه می‌شود، لذا یکی از توابعی که در این تحقیق مطالعه و بررسی شده‌است، تابع هدف، سود و تابع هدف دیگر به علت حایز اهمیت بودن زمان، زمان تکمیل در نظر گرفته شده است.

در یک محیط تولیدی واقعی ممکن است یک کار برای پردازش به همه ماشین‌ها نیاز نداشته باشد لذا یکی از فرض‌هایی که در این مسئله در نظر گرفته شده است، عملیات از دست رفته (حذف شده) است. اثر، تاثیر یادگیری یکی از فرض‌هایی است که به تازگی مورد توجه محققین قرار گرفته است، باعث میشود تا مدل نزدیک‌تر به دنیای واقعی شود. با توجه به NP-hard بودن مسئله نیاز است تا مسئله را با یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری حل کرد و سپس بعد از حل مسئله توسط الگوریتم فراابتکاری باید جواب‌های بدست آمده را اعتبار سنجی کرد.

کلمات کلیدی: جریان کارگاهی غیر جایگشتی، چند هدفه، زمان وابسته به یادگیری، عملیات از دست رفته، تاثیر یادگیری

فهرست مطالب

فصل اول کلیات تحقیق ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ طبقه بندی مسائل زمان بندی ۴
۱-۳ بیان مسئله ۸
۱-۴ ضرورت و سابقه انجام تحقیق ۱۲
۱-۵ فرض‌های تحقیق ۱۳
۱-۶ جمع‌بندی ۱۴
فصل دوم مرور ادبیات تحقیق ۱۶
۲-۱مقدمه ۱۷
۲-۲ نظریه زمان بندی ۱۸
۲-۳ مدلهای رایج در زمانبندی ۲۱
۲-۳-۱ مدل تک ماشینی با کارهای مستقل ۲۱
۲-۳-۲ زمان‌بندی جریان کارگاهی یا کارگاه جریان ۲۱
۲-۳-۳ زمان‌بندی تولید کارگاهی ۲۳
۲-۴ بیشینه تحقیق ۲۴
۲-۴-۱ جریان کارگاهی بازگشتی و غیر بازگشتی ۲۵
۲-۴-۲ جریان کارگاهی با زمان وابسته به توالی ۲۹
۲-۴-۳ جریان کارگاهی با تاثیر یادگیری ۳۲
۲-۶ جمع‌بندی ۳۹
فصل سوم مدل سازی و ارایه روش حل ۴۲
۳-۱مقدمه ۴۳
۳-۲ معرفی مسئله ۴۳

۳-۳ مدل سازی ریاضی مسئله ۴۶
۳-۳-۱مدل ریاضی غیرخطی مختلط: ۴۶
۳-۳-۲ خط سازی محدودیتهای غیر خطی ۴۹
۳-۴ مسئله بهینه یابی چند هدفه ۵۱
۳-۴-۱ اهداف در بهینه‌یابی چند هدفه ۵۲
۳-۴-۲ تفاوت بهینه‌یابی چندهدفه با بهینه‌یابی تک هدفه ۵۳
۳-۴-۲-۱دو هدف بجای یک هدف ۵۴
۳-۴-۲-۲ مواجهه با دو فضای جستجو ۵۵
۳-۴-۲-۳ فاقد حدود ثابت ساختگی ۵۵
۳-۵ بهینگی پاره‌تو و غلبه ۵۶
۳-۵-۱مفهوم غلبه ۵۶
۳-۵-۲ بهینگی پاره‌تو ۵۸
۳-۶ الگوریتمهای تکاملی ۵۸
۳-۷ الگوریتم ژنتیک ۵۹
۳-۷-۱ اصول پایه الگوریتم ژنتیک ۶۰
۳-۷-۲ مراحل پیاده سازی الگوریتم ژنتیک ۶۱
۳-۸ نخبه‌گرایی در الگوریتم ژنتیک مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II) ۶۲
۳-۸-۱ عملگر انتخاب مقایسه‌ای ۶۶
۳-۸-۱-۱ روال تخصیص فاصله ازدحام: ۶۷
۳-۹ الگوریتم استفاده شده در این تحقیق ۶۸
۳-۹-۱ تابع برازندگی ۷۰
۳-۹-۲ کروموزوم ۷۰
۳-۹-۳ تولید جمعیت اولیه ۷۱
۳-۹-۴ عملگرهای ادغام ۷۱

۳-۶-۵ عملگرهای جهش ۷۲
۳-۶-۶ انتخاب ۷۳
۳-۶-۷ تنظیم پارامتر ۷۳
۳- ۴ جمع بندی ۷۴
فصل چهارم ارزیابی مسئله ۷۶
۴-۱مقدمه ۷۷
۴-۲ مسائل نمونه ۷۷
۴-۳ مقایسه جوابهای پاره‌تو و جوابهای دقیق ۷۹
۴-۴ اعتبار سنجی جوابهای پاره‌تو با استفاده از روش فاصله میانگین از نقطه ایدهآل ۸۱
۴-۵ جمع‌بندی ۸۵
فصل پنجم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۸۷
۵-۱ مقدمه ۸۸
۵-۲ جمع‌بندی ۸۹
۵-۳ پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ۹۱
فهرست مراجع ۹۲

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱ دسته‌بندی مسائل جریان کارگاهی و توابع هدف آن ۲۹
جدول ۲-۲ دسته بندی مسئله زمان بندی با توابع هدف مختلف با در نظر گرفتن تاثیر یادگیری ۳۸
جدول ۳-۱ تنظیم پارامترهای الگوریتم ۷۳
جدول ۴-۱ ابعاد پانزده مساله نمونه ۷۸
جدول۴-۲ مقایسه زمان حل مسائل با دو روش ۸۱

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ شمایی از جریان کارگاهی ۷
شکل۱-۲ جریان کارگاهی جایگشتی ۷
شکل۱-۳ جریان کارگاهی غیر جایگشتی ۷
شکل۱-۴ نمودار گانت چارت مقایسه زمان تکمیل جریان کارگاهی ۸
شکل ۱-۵ مفهوم عملیات از دست رفته..... ۱۰
شکل ۲-۱ پردازش کارها در یک کارگاه جریان ۲۲
شکل ۲-۲ پردازش کارها در یک کارگاه جریان بدون محدودیت استفاده کارها از تمام ماشین‌ها ۲۲
شکل ۲-۳ شمایی از ورود و خروج کارها به هرکدام از ماشین‌ها در مدل تولید کارگاهی..... ۲۳
شکل۲-۴ شمایی از محیط جریان کارگاهی و تولید کارگاهی ۲۴
شکل ۲-۵ نمایی از زمان آمادهسازی وابسته به توالی ۳۰
شکل ۳-۱ نمایی ساده از مسئله ۴۵
شکل ۳-۲ جمعیتی از پنج جواب ۵۸
شکل ۳-۳ نمایشی از عملکردNSGA-II ۶۵
شکل ۳-۴ محاسبه فاصله ازدحام ۶۷
شکل۳-۵ ساختار کروموزوم الگوریتم پیشنهادی ۷۰
شکل ۳-۶ تولید فرزند اول از دو والد توسط عملگر POX ۷۲
شکل ۴-۱ نمودار پارهتو با دو روش دقیق و فراابتکاری ۷۹
شکل ۴-۲ نمودار فاصله میانگین از نقطه ایدهآل ۸۲
شکل ۴-۳: نمودار پراکندگی جوابهای ناچیره ۸۳
شکل ۴-۴ روند تغییرات در شاخصهای MID و SNS..... ۸۴

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

با افزایش و گسترش صنایع و شرکت‌های تولیدی آنچه بیش از پیش رخ میدهد ضرورت برنامه ریزی برای انجام کارهاست. با برنامه‌ریزی درست میتوان از اتلاف زمان و هزینه جلوگیری کرد، همچنین می-توان با برنامه‌ریزی درست سود را نیز افزایش داد. به تدریج با گسترش فعالیت‌های تولیدی و محدودیت منابع مورد استفاده در تولید، برنامه‌ریزی هم شکل پیچیده‌تری به خود گرفت تا آنجا که برنامه‌ریزی از حیطه روالی ساده و دستی خارج شد و به فعالیتی علمی تبدیل گشت. در این میان برنامه‌ریزی برای کارگاهی که پردازش بخش‌های مختلف محصولات تولیدی روی ماشین‌های مختلف آن انجام میگیرد، شکل زمان‌بندی استفاده از ماشین‌ها را به خود گرفت.

طبق گفته بیکر زمان‌بندی تخصیص منابع در طول زمان برای اجرای مجموعه‌ای از وظایف است. این تعریف دو مفهوم مختلف را در بردارد. اولاً زمان‌بندی نوعی تصمیم گیری است و فرآیندی است که در جریان آن برنامه زمانی را تعیین می‌کنند. ثانیاً زمان‌بندی مبحثی نظری است که مجموعه‌ای از اصول، مدل‌ها، روش‌ها و نتایج منطقی را در بر می‌گیرد.

در واقع می‌توان بیا کرد که در زمان‌بندی مساله اصلی یافتن توالی از عملیات است که در آن فعالیت‌ها (مانند کارها) از منابع لازم عبور کنند (مانند ماشین‌آلات) به صورتی که این توالی از عملیات شدنی بوده و با توجه به معیار عملکرد (هدف) تعیین شده، بهینه باشد. زمان همواره یک محدودیت اساسی بوده‌است

و زمان‌بندی و تعیین عملیات یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزی تولید است. در مسائل زمان‌بندی اصولا با مدل‌های ریاضی سروکار داریم. مسائل زمان‌بندی به صورت مسائل بهینه سازی محدودیت‌دار به ویژه مسائل توالی عملیات و تخصیص منابع مورد بررسی قرارگرفته‌است. مسائلی که صرفا مقوله توالی عملیات را در نظر دارند به حوزه زمان‌بندی مربوط می‌شود. مسائل زمان‌بندی به طور کلی هم به تخصیص منابع و هم به توالی عملیات نیازمند است، هنگامی که تنها یک منبع وجود داشته باشد، در مسائل تک ماشینی مطرح میشود، و تخصیص آن منبع به طور کامل با گرفتن تصمیمات مربوط به توالی عملیات انجام می پذیرد. در مدل‌های چند ماشینی، ماشین‌ها میتواند به صورت موازی یا سری ویا ترکیبی از این‌ها قرارگیرند. فرض سری بودن ماشین‌آلات فرض چند مرحله‌ای بودن کارها را ایجاب میکند. این نکته ضرورتا بدین معنی است که بین هرکار و هر یک از عملیات تشکیل دهنده فرآیند آن تفاوت قائل می-شویم.

در بسیاری از مسائل واقعی زمان‌های آماده‌سازی به نوع کار تازه تکمیل شده و کار در دست انجام بستگی دارد. معمولاً در حالی که یک وسیله چندین نوع کالای مختلف را تولید میکند، یا اینکه یک ماشین چند منظوره انواع گوناگونی از کارها را انجام می‌دهد زمان آماده سازی وابسته به توالی[1] مطرح میشود. در مواردی که برای تولید ترکیب‌های شیمیایی متفاوت از یک سیستم منفرد استفاده میکنیم ممکن است مقداری کار شستشو و تمیز کاری در فاصله میان اجرای فرآیند در مورد ترکیب‌های مختلف لازم شود تا مطمئن شویم که میزان ناخالصی در حداقل مجاز نگه‌داشته شده‌است. به علاوه، تشخیص موقعیت‌هایی که در آنها میزان تمیز کردن دستگاه، هم به نوع ماده شیمیایی تولید شده در آخرین مرحله و هم به نوع ماده شیمیایی در دست تولید بستگی دارد دشوار نیست.

همواره تلاش محققین برای کاهش زمان پردازش کارها و فعالیت‌ها بوده‌است. یکی از مفاهیمی که به تازگی برای کاهش زمان پردازش وارد مباحث زمان‌بندی شده است، مفهوم اثر یادگیری[2] است. کاهش

[1] Sequence dependent setup time
[2] Learning Effect

مداوم در زمان پردازش معمولا با انجام همان کار بارها و بارها اتفاق میافتد و هر بار که کارها بیشتر روی یک ماشین پیش میروند زمان پردازش آن‌ها نیز کاهش میابد.

در عمل، مسائل زمان‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری[۳] و فراابتکاری[۴] برای حل مسائل زمان‌بندی و بدست آوردن جواب‌های بهینه (یا نزدیک به بهینه) بسیار متداول است.

۱-۲ طبقه بندی مسائل زمان بندی

بیکر۱۹۷۴، یک دسته بندی برای مسائل زمان‌بندی ارائه کرده‌است. این دسته‌بندی مسائل را با توجه به ابعاد زیر طبقه بندی می‌نماید:

۱. تامین نیازمندی‌ها[۵]
۲. پیچیدگی فرآیندها[۶]
۳. معیار زمان‌بندی بودن[۷]
۴. متغیر بودن پارامترها[۸]
۵. محیط زمان‌بندی[۹]

توضیح مختصری درباره موارد بالا:

براساس تامین نیازمندی‌ها، تولید می‌تواند به دو صورت دسته‌بندی می‌شود. تولید می‌تواند براساس ساخت بر مبنای سفارش باشد و هیچ موجودی ذخیره نشود و یا سفارش‌ها از محل موجودی ذخیره شده تامین شود.

[3] Heuristic
[4] Meta-heuristic
[5] Requirement Generation
[6] Processing Complexity
[7] Scheduling Criteria
[8] Parameter Variability
[9] Scheduling Environment

پیچیدگی فرآیند، به تعداد مراحل و ایستگاه‌های کاری مرتبط با فرآیند تولید اشاره دارد. اینرا بعد از زمان‌بندی می‌توان به صورت زیر به ابعاد کوچک‌تری تقسیم نمود:

۱. یک مرحله، یک فرآیند
۲. یک مرحله، چند فرآیند
۳. چند مرحله، جریان کارگاهی[۱۰]
۴. چند مرحله، تولید سفارشی[۱۱]

در مورد اول شامل یک مرحله فرآیند می‌باشد که به ترتیب بر روی یک یا چندین منبع صورت می‌گیرد. در مسائل جریان کارگاهی، هر کار شامل چندین عملیات می‌باشد که نیازمند پردازش توسط چند منبع متمایز می‌باشد، اما فرآیند تولید برای همه قطعات یکسان می‌باشد. در نهایت، در وضعیت سیستم‌های تولید سفارشی برای یک کار مشخص، منابع و فرآیندهای تولیدی مختلف می‌توانند انتخاب شوند که امکان تولید انواع محصولات را موجب می‌شود .

بعدسوم معیار زمان‌بندی، بیانگر اهداف مورد نظر می‌باشد که می‌تواند به صورت یک یا چندین هدف پیچیده و حتی متناقض باشد. برخی از معیارهای زمان‌بندی به شرح زیر می‌باشد:

۱. کمینه کردن مجموع دیرکردها[۱۲]
۲. کمینه کردن تعداد فعالیت‌های دارای تاخیر
۳. بیشینه کردن بهره‌وری منابع/ سیستم
۴. کمینه کردن موجودی حین تولید[۱۳]
۵. ایجاد توازن در مصرف منابع[۱۴]
۶. بیشینه کردن نرخ تولید

[10] Flow shop
[11] Job shop
[12] Total Tardiness
[13] Work in process
[14] Resource usage

بعد چهارم، تغییرات در پارامترها، نشان دهنده درجه عدم قطعیت پارامترهای گوناگون در مسائل زمان-بندی می‌باشد. اگر درجه عدم قطعیت جزئی باشد، به این مسائل زمان‌بندی قطعی گفته می‌شود، در غیر این‌صورت به آن زمان‌بندی احتمالی گفته می‌شود. برای مثال اگر مدت زمان انتظار یک عمل ۶ ساعت با واریانس ۱ دقیقه باشد زمان‌بندی قطعی محسوب می‌شود.

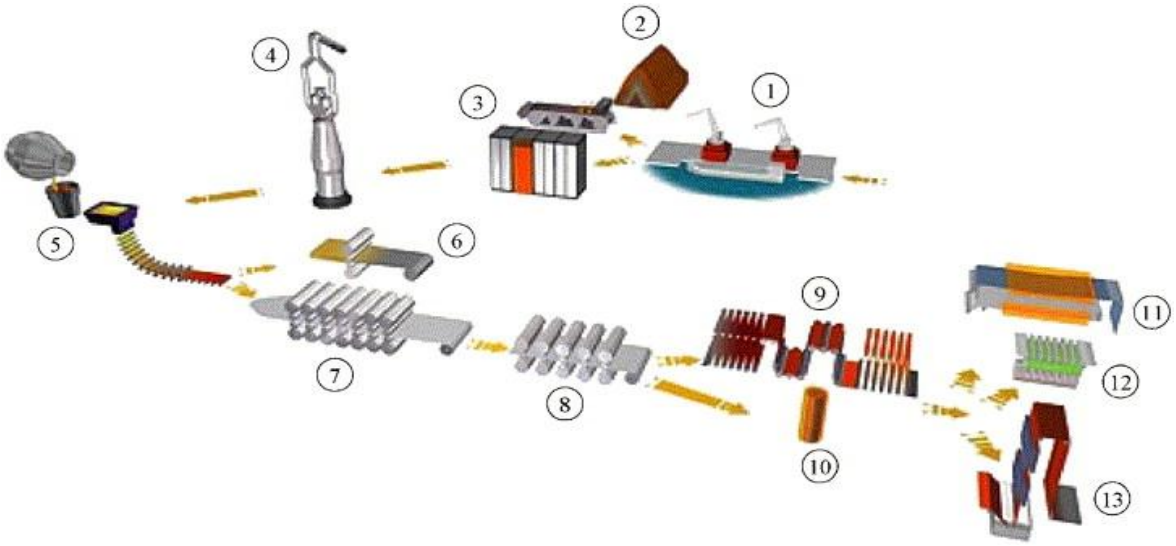
در آخرین بعد، محیط زمان‌بندی، زمان‌بندی را به ۲ صورت ایستا و پویا تقسیم می‌نماید.

به مسائل زمان‌بندی که در آن تعداد کارها و زمان لازم برای انجام هر عمل مشخص باشد، ایستا گفته می‌شود. از طرف دیگر، به مسائل زمان‌بندی که در آن تعداد کارها و دیگر عوامل مربوط به آن در طول زمان تغییر می‌کند، پویا گفته می‌شود.

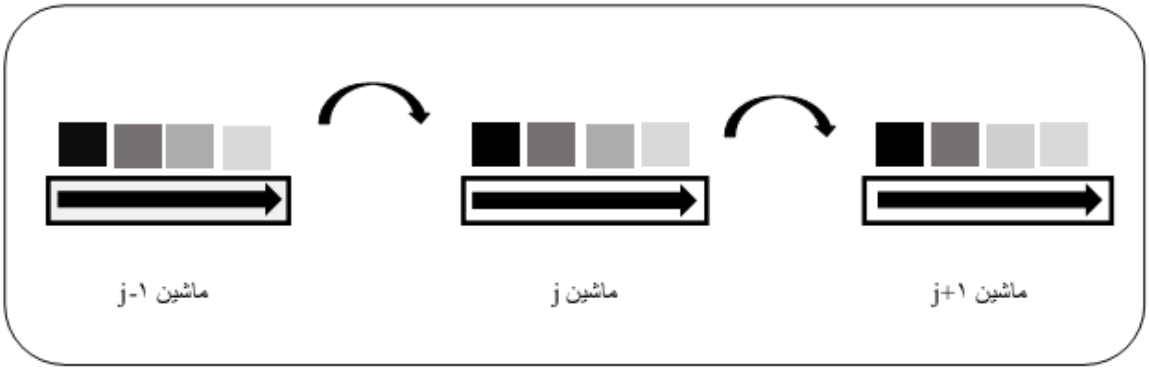
همانطور که بیان شد یکی از انواع مسائل زمان‌بندی، مسائل جریان کارگاهی است که به دو نوع جریان کارگاهی جایگشتی و غیرجایگشتی دسته‌بندی می‌شود.

جریان کارگاهی به این صورت است که m ماشین به صورت سری مرتب شده‌اند و هر کاری بایستی روی هر یک از این ماشین‌ها پردازش شود. در این محیط تمام کارها مسیر یکسانی را باید طی کنند. به این طریق تمام کارها ابتدا روی ماشین۱، سپس روی ماشین۲، الی ماشین m باید پردازش شوند. بعد از تکمیل فرآیند یک کار روی هر یک از ماشین‌ها آن کار به صف ماشین بعدی می‌پیوندد. اگر اولین کار وارد شده به صف، اولین خروجی صف باشد و یا به عبارتی وارد شدن و خارج شدن از صف مطابق با نظام اولین ورودی، اولین خروجی[۱۵] باشد. اصطلاحا این مسئله را محیط جریان کارگاهی جایگشتی نامیده میشود اما اگر کارها در هر ماشین با ترتیب خاصی وارد نشود مسئله زمان بندی غیر جایگشتی نامیده می‌شود. همانطور که در شکل زیر نشان داده شده‌است، مزیتی که جریان کارگاهی غیرجایگشتی به جایگشتی دارد این است ممکن است زمان تکمیل در مسئله زمان بندی جریان کارگاهی غیر جایگشتی کمتر از زمان تکمیل جریان کارگاهی جایگشتی شود.

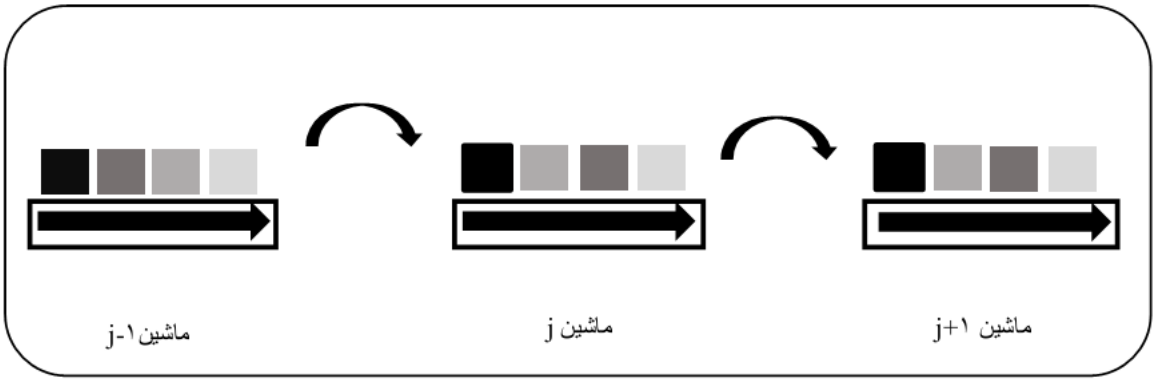
[15] FIFO



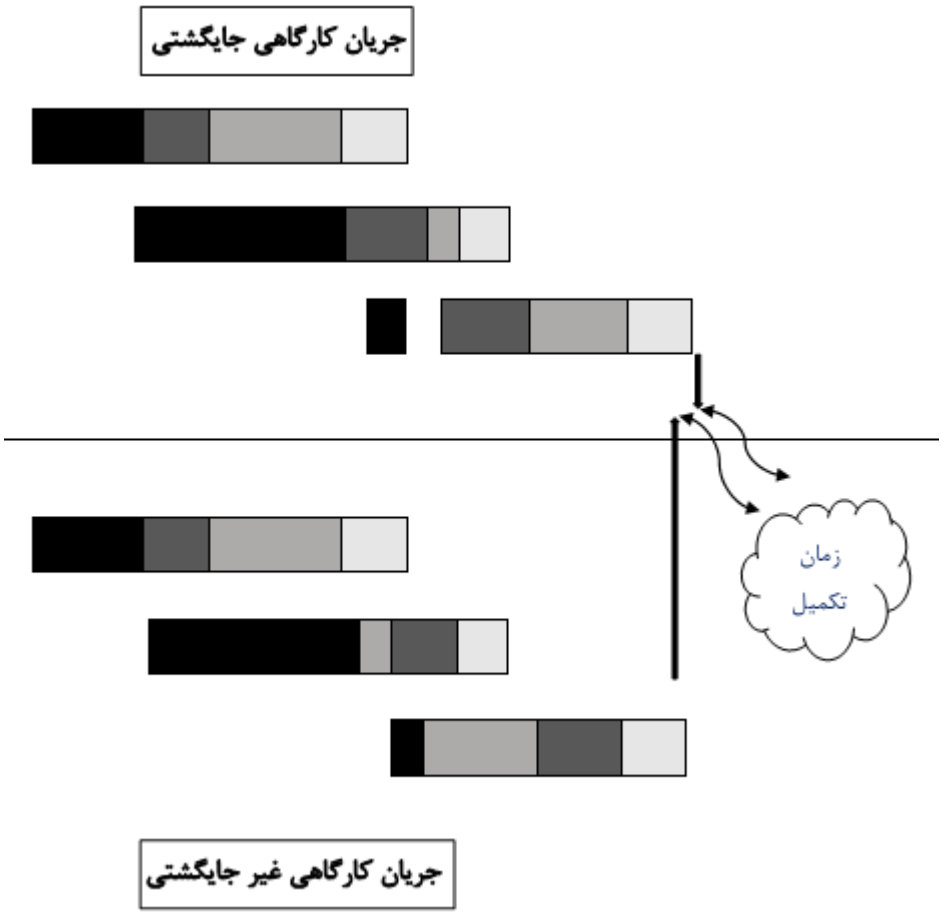
شکل ۱-۱ شمایی از جریان کارگاهی



شکل۱-۲ جریان کارگاهی جایگشتی



شکل۱-۳ جریان کارگاهی غیر جایگشتی



شکل۱-۴ نمودار گانت چارت مقایسه زمان تکمیل جریان کارگاهی جایگشتی و غیرجایگشتی با توجه به شکل ۱-۳

۱-۳ بیان مسئله

در این پایان نامه ما به مدلسازی مسئله جریان کارگاهی غیر جایگشتی با در نظر گرفتن فرض زمان وابسته به توالی و تاثیر یادگیری با دو تابع هدف می‌پردازیم به طوریکه هر کار می‌تواند حذف شده نیز

داشته باشد، به این معنی که همه کارها الزاماً نیازی ندارند برای پردازش از همه ماشین‌ها عبور کنند و در طی فرآیند ممکن است حتی، یک کار برای پردازش تنها از یک ماشین عبور کند . در واقع می‌توان به این صورت بیان کرد که هر کار می‌تواند حداقل از یک ماشین و حداکثر از M ماشین عبور می‌کنند.

جریان کارگاهی یکی از طبقه بندی‌ها در زمان‌بندی تولید است که در فصل سه مجدداً به صورت علمی-تری توصیف خواهد شد. باید در نظر داشت که زمان‌بندی بهینه در جریان کارگاهی یکی از بزرگترین زمینه مورد علاقه برای محققین است.

همانطور که گفته شد در برنامه بهینه برای یک جریان کارگاهی دو رویکرد اصلی در نظر گرفته میشود. یکی جریان کارگاهی جایگشتی و دیگری جریان کارگاهی غیر جایگشتی. مسئله زمان‌بندی جریان کارگاهی به صورت پردازش توالی n کار در m ماشین که معیار عملکرد مورد نظر بهینه درآن بهینه میشود، عنوان میشود و در واقع در زمان بندی جریان جایگشتی توالی پردازش کارها برای همه ماشین‌ها به همان صورت باقی می‌ماند. و چون کار با جریان کارگاهی جایگشتی آسان‌تر است محققین جهت اعمال فرض‌های مختلف بیشتر به آن توجه کرده‌اند. اما در نظر گرفتن زمان‌بندی جریان کارگاهی به صورت غیرجایگشتی چالش‌برانگیز است، زیرا در این حالت هر توالی از کارها در هر ماشین ممکن است به یک یکسان نباشد و ممکن است ترتیب کارها برای پردازش در هر ماشین به صورتی متفاوت باشد. و این باعث پیچیده‌تر و سخت ترشدن مسئله میشود که این خود مسلماً مدل دشوارتری را نیز به همراه خواهد داشت.

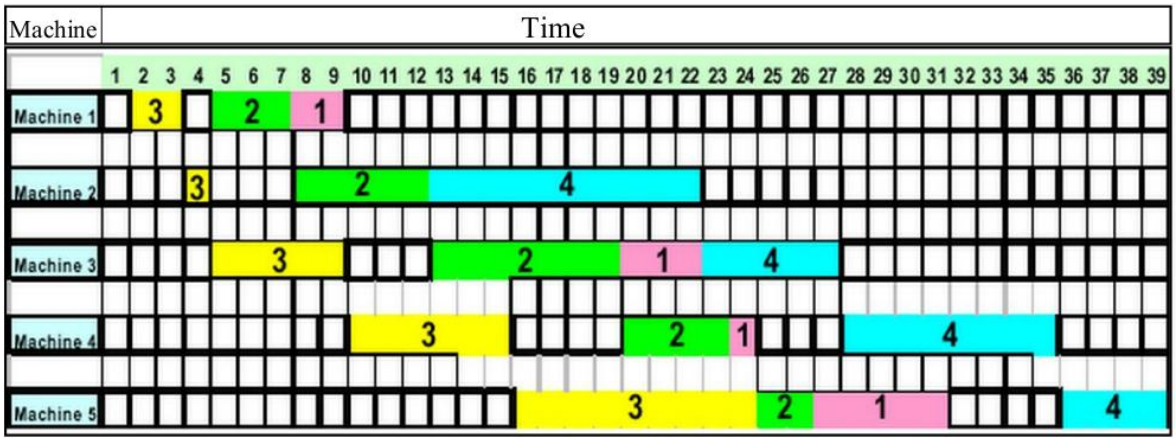
یکی دیگر از این فرض‌ها که در این پایان نامه مورد توجه قرار گرفته‌است، توجه به زمان وابسته به توالی است به این صورت که، زمان راه‌اندازی کارها در پردازش روی ماشین‌ها به یکدیگر بستگی دارند و مهم است که چه کاری قبل از چه کاری قرار گرفته باشد. به این معنا که زمان راه‌اندازی یک کار در یک ماشین به زمان راه‌اندازی کار قبلی در همان ماشین وابسته است.

بنابراین مدلی که در اینجا مورد مطالعه قرار گرفته‌است، مدل جریان کارگاهی غیرجایگشتی بازمان راه-اندازی وابسته به توالی است.

همه محققین در تلاش هستند تا زمان پردازش را تا جای ممکن کاهش دهند، با توجه به این نکته، که در یک خط تولید هرچه از یک محصول به طور پیوسته تولید کنیم و هرچه این تولیدات بیشتر شود زمان پردازش بر اساس عواملی از جمله بالا رفتن مهارت کارگران بعد از انجام هر کار و یا در ماشین های گرمایی هرچه ماشین بیشتر کار کند، پردازش سریع‌تر میشود و در نتیجه کاهش زمان پردازش کاهش می‌یابد.

همه‌ی کارها در یک کارخانه تولیدی ممکن است برای تولید به همه عملیات نیاز نداشته باشند به اصطلاح می‌توانیم عملیات از دست رفته (عملیات حذف شده) داشته‌باشیم[۱۶]. شکل (۱-۵) مفهوم عملیات حذف شده را کامل‌تر مشخص می‌کند.

همانطور که در شکل مشخص است در ماشین دو یک عملیات از دست رفته داریم، به این معنی که قطعه ۱ برای تولید نیازی به پردازش بر روی ماشین دو ندارد. اضافه شدن این ویژگی به مسئله باعث افزایش انعطاف پذیری مسئله و به واقعیت نزدیک‌تر شدن مدل مورد برررسی میشود. اضافه شدن ویژگی عملیات از دست رفته با توجه به مهم در نظر گرفتن موقعیت هر کار در هر ماشین به مسئله به صورت مدل ریاضی در مسائل زمان بندی در محیط های مختلف، برای اولین بار مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل ۱-۵ مفهوم عملیات از دست رفته

[16] Missing Operation