بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

ارائه یک رویکرد ابتکاری جدید در حل مسائل زمان‌بندی دیرکرد/زودکرد در حالت تک ماشین

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

سیمین پورشیخعلی

استاد راهنما

دکتر مهدی بیجاری

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی صنایع خانم سیمین پورشیخعلی

تحت عنوان

ارائه یک رویکرد ابتکاری جدید در حل مسائل زمان‌بندی دیرکرد/زودکرد در حالت تک ماشین

در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۵ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مهدی بیجاری
۲- استاد داور	دکتر قاسم مصلحی
۳- استاد داور	دکتر علی زینل همدانی
٤- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مهدی بیجاری

تقدیر و تشکر

با تشکر از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر بیجاری که با راهنمایی های ارزنده خود، در انجام این پایان نامه با من همراهی نمودند . بابت هر آن چه از ایشان آموختم خالصانه سپاسگزارم. امید است فرصت جبران یابم. سپاس بیکران بر همدلی و همکاری و همگامی‌شان.

با تشکر از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر مصلحی و جناب آقای دکتر همدانی که افتخار شاگردی شان را داشته ام و زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند.

از پدر ومادر عزیزم که بزرگوارانه سبب شدند تا در کمال آسودگی خیال و فراغت بال، شوق آموختن در من زنده بماند صمیمانه سپاسگزارم.

خداوندا،

عاقبت خیر، عافیت و طول عمر را برای این بزرگواران از درگاهت مسئلت دارم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

خانواده عزیز و دوست داشتنی‌ام

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: کلیات تحقیق .....

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ ضرورت بحث ۳

۱-۳ معرفی هدف تحقیق ٤

۱-٤ مروری بر فصول تحقیق ٥

فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع .....

۲-۱ مقدمه ٦

۲-۲ معرفی انواع توابع هدف و فرضیات مختلف مسائل زمان‌بندی ۷

۲-۲-۱ معرفی انواع توابع هدف ۷

۲-۲-۲ معرفی انواع محیط‌های تولیدی و فرضیات مختلف مسائل زمان‌بندی ۸

۲-۳ معرفی انواع روش های حل در مسائل زمان‌بندی ۱۰

۲-۳-۱ استراتژی های حل دقیق ۱۲

۲-۳-۲ روش‌های ابتکاری و فراابتکاری ۱۳

۲-۳-۳ تولید ستون ۱۷

۲-۳-۳ برنامه ریزی محدودیتی ۱۷

۲-۳-٥ داده‌کاوی ۱۷

۲-٤ مروری بر ادبیات موضوع مسائل زمان‌بندی دیرکرد و زودکرد ۱۹

۲-٤-۱ مسائل زمان‌بندی تک هدفه و چندهدفه ۱۹

۲-٤-۲ دسته‌بندی مسائل زمان‌بندی زودکرددار و دیرکرددار از بعد تک هدفه و چندهدفه ۲۱

۲-٤-۳ مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه مسائل زمان‌بندی تک هدفه مرتبط با دیرکرد و زودکرد ۲۲

۲-٤-٤ مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه مسائل زمان‌بندی دو هدفه مرتبط با دیرکرد و زودکرد ۲۳

۲-٤-٥ مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه مسائل زمان‌بندی دو هدفه مرتبط با زودکرد و تعداد کارهای دیرکرددار ۲۷

۲-٥ جمع‌بندی ۲۹

فصل سوم: معرفی رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسائل زمان‌بندی دیرکرددار و زودکرددار ۳۰

۳-۱ مقدمه ۳۰

۳-۲ معرفی مسئله ETmax ۳۱

۳-۲-۱ تعاریف ۳۱

۳-۲-۲ پیچیدگی مسئله ۳۲

۳-۳ معرفی رویکرد ابتکاری جدید در حل مسئله حداقل‌سازی بیشینه دیرکرد و زودکرد در حالت تک ماشین ۳۲

۳-٤ مثال عددی ۳٥

۳-٥ آزمایشات عددی.....٤۱

۳-٦ نتیجه نهایی در بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حداقل‌سازی مجموع بیشینه درکرد و زودکرد ٤٦

۳-۷ موارد بررسی شده در روند تکامل الگوریتم پیشنهادی ٤٦
۳-۷-۱ استفاده از آزمون آماری «برابری میانگین دو جامعه» ٤٦
۳-۷-۲ سایر موارد بررسی شده ٥٢
۳-۸ ارائه الگوریتمی جدید در بهبود کارایی رویکرد پیشنهادی ٥٣
۳-۹ جمع‌بندی ٥٥
فصل چهارم: بکارگیری رویکرد ابتکاری در حل مسائل زمان‌بندی با توابع هدف مختلف ٥٦
٤-۱ مقدمه ٥٦
٤-۲ تعاریف ٥٦
٤-۳ مسئله میانگین(کل) دیرکرد ٥٧
٤-۳-۱ پیچیدگی مسئله ٥٧
٤-۳-۲ بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حداقل‌سازی میانگین دیرکرد ٥٧
٤-۳-۳ آزمایشات عددی ٥٧
٤-۳-٤ نتیجه نهایی در بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حداقل‌سازی میانگین دیرکرد ٦٣
٤-٤ مسئله مجموع میانگین(کل) دیرکرد و زودکرد ٦٣
٤-٤-۱ پیچیدگی مسئله ٦٣
٤-٤-۲ بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حداقل‌سازی میانگین(کل) دیرکرد و زودکرد ٦٣
٤-٤-۳ آزمایشات عددی ٦٣
٤-٤-٤ نتیجه نهایی در بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حداقل‌سازی میانگین(کل) دیرکرد و زودکرد ٦٩
٤-٥ مسئله میانگین دیرکرد و زودکرد وزنی با اوزان وابسته به کار ٦٩
٤-٥-۱ پیچیدگی مسئله ٦٩
٤-٥-۲ بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حداقل‌سازی میانگین دیرکرد و زودکرد وزنی با اوزان وابسته به کار ٦٩
٤-٥-۳ آزمایشات عددی ۷۰
٤-٥-٤ نتیجه نهایی در بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حدا قل‌سازی دیرکرد و زودکرد وزنی با اوزان وابسته به کار ۷٦
٤-٦ مسئله مجموع میانگین دیرکرد و زودکرد وزنی با اوزان مستقل از نوع کار ۷٦
٤-٦-۱ پیچیدگی مسئله ۷٦
٤-٦-۲ بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حدا قل‌سازی دیرکرد و زودکرد وزنی با اوزان مستقل از نوع کار ۷۷
٤-٦-۳ آزمایشات عددی ۷۷
٤-٦-٤ نتیجه نهایی در بکارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهادی در حل مسئله حداقل‌سازی دیرکرد و زودکرد وزنی با اوزان مستقل از نوع کار ۸٦
٤-۷ جمع‌بندی ۸٦
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۸
٥-۱ جمع‌بندی مباحث ۸۸
٥-۲ نتیجه‌گیری ۸۹
٥-۳ پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آتی ۹۰

مراجع ۹۱

چکیده

تأکید روزافزون محیط‌های کسب و کار در تعهد به موعدهای تحویل، بعنوان یک مزیت رقابتی، منجر به توجه به معیارهای دیرکرد و زودکرد بعنوان موضوع بسیاری از مطالعات زمان‌بندی شده است. یکی از خصایص مهم تولیدات مدرن، کاربرد گسترده مفهوم تولید بهنگام در مدیریت تولید و موجودی به شمار می‌آید، که در آن هر کار بایستی تا حد امکان نزدیک به موعد تحویل خود تولید گردد. در چنین محیط‌هایی مدت زمانی که کار با دیرکرد و یا زودکرد مواجه می‌شود، حائز اهمیت است. بنابراین، برنامه‌های زمان‌بندی سعی در حداقل‌سازی کل دیرکرد و زودکرد که نمایانگر رضایت مشتری و همچنین سطح عملکرد تولید از لحاظ موجودی است، دارد.

با توجه به کاربرد گسترده این دسته از مسائل زمان‌بندی ، روش‌های دقیق چون برنامه‌ریزی پویا و الگوریتم‌های مختلف شاخه‌وکران به منظور دستیابی به بهترین توالی جایگشتی توسعه یافته است. البته قابل ذکر است که به دلیل NP-Hard بودن اکثر مسائل مورد بررسی، روش‌های ابتکاری، فراابتکاری و روندهای ترکیبی در شرایط پیچیده و ابعاد بزرگ بسیار مفیدتر عمل می‌نماید.

در این تحقیق، رویکرد ابتکاری دومرحله‌ای جدیدی به منظور حل مسائل زمان‌بندی دیرکرد/ زودکرد، در حالت تک ماشین ارائه شده است. معیارهای عملکرد مختلفی چون کمینه کردن مجموع بیشینه دیرکرد و زودکرد، کمینه کردن مجموع وزنی دیرکرد و زودکرد و همچنین کمینه کردن کل دیرکرد، به عنوان یک تابع هدف مهم، در نظر گرفته شده است. فاز اول رویکرد، به یافتن موقعیت تقریبی کارها در توالی می‌پردازد. بدین ترتیب که بر پایه یک نمونه تصادفی اولیه، ماتریس «کار- جایگاه» تشکیل می‌گردد. موقعیت تقریبی کارها در توالی بر اساس این ماتریس و روش مطرح شده، تشخیص داده می‌شود. بر پایه دانش استخراج شده از فاز اول رویکرد، نمونه تصادفی جدیدی ایجاد و ماتریس«کار- جایگاه» دیگری تشکیل می-گردد. به منظور تخصیص نهایی هر کار به هر جایگاه، روش مجارستانی بر ماتریس فوق اعمال می‌گردد. خروجی حاصل از فاز دوم با بکارگیری روش جستجوی محلی، بهبود داده می‌شود.

به منظور بررسی کارایی رویکرد پیشنهادی در حل مسئله زمان‌بندی با توابع هدف مختلف، مسائل نمونه مرتبط با ارزیابی هر معیار تولید و مورد استفاده و مقایسه قرار گرفت. نتایج محاسباتی به ازای ده کار، نشان دهنده دستیابی به جواب‌های بهینه و نزدیک بهینه در مدت زمان کوتاه است و کارایی الگوریتم پیشنهادی را تائید می‌کند.

کلمات کلیدی: زمان‌بندی تک ماشین، دیرکرد و زودکرد، رویکرد ابتکاری، جستجوی محلی

فصل اول
کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

زمان‌بندی یکی از مباحث مهم در ساخت و تولید محسوب می‌شود و نقش مهمی را در برنامه‌ریزی تولید کف کارگاه ایفا می‌کند. امروزه ماشین‌آلات، نیروی انسانی و تسهیلات به‌عنوان منابع بحرانی در تولید و فعالیت‌های خدماتی درنظر گرفته می‌شوند. زمان‌بندی این منابع منجر به ارتقاء‌کارایی، بهره‌وری و در نهایت سودآوری می‌شود. یک برنامه زمان‌بندی مشخص می‌کند چه موقع زمان پردازش هر کار(محصول) روی هر یک از ماشین‌هایی که آن کار در فرآیند تولید خود به آن نیاز دارد آغاز می‌شود. به‌علاوه، این برنامه زمان پایان هر کار روی هر ماشین را تعیین می‌کند. بنابراین زمان‌بندی یک جدول زمانی برای کارها و ماشین‌ها است. از مزایای زمان‌بندی تولید می‌توان به کاهش تغییرات در فرآیند، هموارسازی و کاهش موجودی، افزایش بهره‌وری، تسطیح نیروی‌کاری و موعدتحویل پیشنهادی دقیق اشاره نمود.

مسائل زمان‌بندی بر اساس وضعیت کارگاه، قطعیت داده‌ها، سیستم ورود قطعات و روش‌های حل به دسته‌های متفاوتی تقسیم می‌شوند. نوع محیط تولیدی یا وضعیت کارگاه می تواند به صورت تک ماشین، ماشین های موازی، جریان کارگاهی[۱]، زمان‌بندی کارگاهی[۲]، سیستم تولید انعطاف‌پذیر[۳]، تولید سلولی[۴] و خط مونتاژ صورت گیرد. اگر

---

[۱] flow shop

[۲] Job shop

[۳] flexible manufacturing system

[۴] cellular manufacturing

اطلاعات کارها به صورت قطعی در دسترس باشد، آن مسائل قطعی نامیده می‌شوند و در صورتی که حتی یک پارامتر قطعی نباشد، مسئله به صورت احتمالی یا فازی در نظر گرفته می‌شود.

روش‌های حل نیز به دو صورت رویه‌های دقیق و ابتکاری تقسیم می‌شوند. معمولاً روش‌های حل بهینه از مدلسازی ریاضی، برنامه‌ریزی پویا[۵] و شاخه وکران[۶] استفاده می‌کنند. رویه‌های ابتکاری حوزه وسیع و متنوعی از روش‌ها را شامل می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های فراابتکاری[۷] اشاره نمود.

تنوع و پیچیدگی مسائل زمان‌بندی، توجه به مدل‌های واقعی‌تر و درک بهتر شرایط پویا در محیط زمان‌بندی، نیازمند بکارگیری الگوریتم‌های ابتکاری و روش‌های حل کارا در مسائل زمان‌بندی است. در راستای توجه به این مهم، در این تحقیق، سعی بر ارائه روشی کارا و جدید است که توانایی حل انواع مختلفی از مسائل زمان‌بندی را دارا باشد.

۱-۲- ضرورت بحث

ساده‌ترین راه برای حل یک مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح، شمارش کامل تمام حالات امکان‌پذیر است. اما بواسطه اندازه مسائل موجود، تنها نمونه‌های کوچک با این رویکرد قابل حل هستند.

از اوایل دهه هفتاد با توسعه نظریه پیچیدگی[۸]، از آن‌جا که اکثر مسائل NP-Hard شناخته شدند، مشخص گردید که امید کمی به استفاده از رویکردهای دقیق در حل این مسائل وجود دارد. این درک به نقش روش‌های ابتکاری در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی که در کاربردهای زندگی واقعی با آن مواجه هستیم، تأکید داشت[۱].

کارایی ابزارها و مکانیزم‌هایی که از زمان پیدایش روش‌های فراابتکاری شناسایی شده‌اند، تا حدی است که در سال-های اخیر موجب ارجحیت روش‌های فراابتکاری در مواجه با حل انواع مختلف مسائل پیچیده بخصوص مسائل بهینه-سازی ترکیبی گردیده است. هر چند که روش‌های فراابتکاری توانایی تأیید بهینگی جواب را ندارد، روش‌های دقیق اغلب در یافتن جواب‌هایی با کیفیت نزدیک به جواب حاصل از روش‌های فراابتکاری، در حل مسائل دنیای واقعی که از پیچیدگی قابل توجهی برخوردار است، ناتوان است[۱].

امروزه روش‌های ابتکاری به دو منظور بکار می‌روند: فراهم نمودن جواب‌های خوب در مواردی که الگوریتم‌های موجود قادر به دستیابی به جواب بهینه در زمان قابل قبولی نیستند و همچنین در جهت بهبود کارایی کران زدن در روش-های شاخه و کران[۲].

برخی از محققین در کنار روش های حل دقیق مانند شاخه و کران به ارائه اصول غلبه، حدود بالا و پایین وابسته با مسئله موردنظر پرداخته‌اند. بدین وسیله تعداد شاخه های درخت جستجو کاهش یافته و مسائل در مدت زمان کوتاه‌تر به جواب بهینه دست می یابند. از طرف دیگر، دستیابی به رویکردهایی که نسبت به تغییر شرایط مسئله تا حدی مقاوم بوده و قابلیت انطباق و حل انواع مختلفی از مسائل را داشته باشد، حائز اهمیت و توجه است.

---

[۵] Dynamic Programming

[۶] Branch and Bound

[۷] Metaheuristic

[۸] complexity theory

۱-۳- معرفی هدف تحقیق

مسائل تک‌ماشینه مبنایی برای مدل‌های پیچیده‌تر می‌باشد. همچنین در بسیاری از موارد یک ماشین نسبت به بقیه ماشین‌ها حالت گلوگاه را داشته و بنابراین بررسی آن به‌صورت یک ماشین منفرد ممکن است خواص کل برنامه تولیدی را مشخص سازد. در سایر مواقع، ممکن است بتوان کل امکانات تولیدی کارگاه را به‌عنوان یک منبع منفرد و یا یک ماشین مورد بررسی قرار داد که در این حالت می‌توان از مدل تک‌ماشینه برای تحلیل آن استفاده نمود.

یک مسئله تک‌ماشینه می‌تواند ابعاد مختلفی داشته باشد ولی ساده‌ترین شکل این مسئله با فرضیات زیر مشخص می‌شود.

- مجموعه n کار مستقل در زمان صفر برای اجرای عملیات تولیدی روی ماشین در دسترس می‌باشد.
- زمان آماده‌سازی کارها مستقل از ترتیب انجام آنها بوده و می‌توان آنها را به‌عنوان بخشی از زمان پردازش کار درنظر گرفت.
- ماشین به‌طور پیوسته دردسترس بوده و اگر کاری در حالت انتظار قرار داشته باشد ماشین بیکار نگه داشته نمی‌شود.
- زمانی که یک کار روی ماشین قرار گرفت عملیات پردازش آن تا انتها بدون وقفه ادامه پیدا می‌کند.

تعداد جواب‌های مجزا با فرضیات فوق برای مسئله تک‌ماشینه $n!$ است که تعداد حالت‌های ممکن برای چیدمان n عنصر کنار هم می‌باشد.

شماری از محققین، توابع هدف چندگانه را به دلیل انطباق با خواسته های مدیریت، در مسائل تعیین توالی و زمان-بندی مورد توجه قرار داده اند. یکی از اهداف چندگانه، کمینه کردن مجموع (وزنی) زودکرد و دیرکرد کارهاست. این موضوع با سیستم تولید بهنگام[۹] (JIT) منطبق است. کاربرد گسترده سیستم های JIT در صنعت موجب نامطلوب بودن تحویل زودهنگام محصولات گشته است. این امر منجر به معرفی هزینه های زودکرد که منعکس کننده هزینه‌های اضافی بیمه، نگهداری و هزینه خرابی محصولات در طول زمان است، گردیده است. از طرفی دیرکرد نمایانگر عدم رضایت مشتریان بوده و از دست دادن مشتریان را به دنبال دارد. بنابراین حداقل سازی جریمه کل دیرکرد و زودکرد،ET ، در بقای صنایع مختلف عامل مهم و حیاتی محسوب می‌شود[۳].

از طرف دیگر، مقادیر بزرگ زودکرد و دیرکرد برای بعضی از کارها، در بسیاری از موارد موجب بروز اشکال در سیستم تولیدی می‌شود. حالتی را در نظر بگیرید که خروجی های یک ماشین به صورت بسته‌های متشکل از چندین قطعه از کارخانه خارج می‌شود، اگر تمام کارهای یک بسته به موقع تولید شود ولی یک کار دیرکرد داشته باشد، سایر کارها باید منتظر بمانند و تولید به موقع آن‌ها سودی نداشته است و حتی در مواردی موجب اشغال فضا و تحمیل هزینه‌های نگهداری می‌شود. بنابراین رویکرد مناسب، تولید تمام قطعات در یک محدوده زمانی نزدیک به هم می باشد. معیار کمینه کردن مجموع بیشینه‌های دیرکرد و زودکرد این مطلوبیت را تأمین می‌کند. کاربرد دیگر این تابع در شرایطی است که خط مونتاژ توسط یک ماشین تغذیه می شود، به این معنی که خط مونتاژ، کارها را در یک زمان مشخص نیاز دارد. اگر کاری دارای دیرکرد یا زودکرد باشد موجب اخلال در خط مونتاژ خواهد شد.

---

[۹] Just In Time

یکی دیگر از توابع هدف، تعیین توالی کارها به‌گونه‌ای است که جریمه ناشی از تأخیر در تحویل که به هزینه دیرکرد معروف است، حداقل شود.

هدف از این تحقیق، ارائه رویکردی کارا و جدید در حل مسئله زمان‌بندی تک ماشین است به نحوی که توانایی حل انواع مختلفی از معیارهای عملکرد مرتبط با دیرکرد و زودکرد را دارا باشد.

این رویکرد از دو قسمت کلی تشکیل شده است. در فاز اول، با استفاده از الگوریتمی ابتکاری، موقعیت نسبی کارها در توالی تعیین می‌گردد. در فاز دوم، بر پایه دانش استخراج شده از فاز اول، موقعیت دقیق کارها در توالی شناسایی می‌گردد. در این فاز همچنین با استفاده از جستجوی محلی و تعویض‌های جفتی، جواب حاصل بهبود داده می‌شود.

۱-۴- مروری بر فصول تحقیق

در این فصل کلیاتی پیرامون تحقیق شامل ضرورت بحث و هدف از انجام تحقیق مطرح گردید. در فصل دوم تلاش شده است ضمن طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی مطابق با هدف تحقیق، مهمترین پژوهش‌های صورت گرفته در هر بخش معرفی‌گردد. در این فصل همچنین، معروف‌ترین و متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در حل مسائل زمان‌بندی عملیات معرفی می‌شود.

در فصل سوم، رویکرد ابتکاری جدیدی که قابلیت حل انواع مختلفی از مسائل زمان‌بندی دیرکرد/ زودکرد در حالت تک ماشین را داشته باشد، معرفی می‌گردد. معیار عملکرد درنظر گرفته شده در این فصل، کمینه کردن مجموع بیشینه دیرکرد و زودکرد می‌باشد. در ابتدا، مسئله زمان‌بندی موردنظر و روش حل ارائه شده، به طور کامل می‌گردد. نتایج محاسباتی برای ارزیابی رویکرد پیشنهادی، در بخش‌های بعدی این فصل آورده می‌شود. در نهایت نتیجه‌گیری از مباحث مطرح شده، بیان می‌گردد.

در فصل چهارم، کارایی رویکرد پیشنهادی با درنظرگیری سایر توابع هدف دیرکرد/ زودکرد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از جمله این توابع هدف می‌توان به حداقل‌سازی میانگین(کل) دیرکرد، حداقل‌سازی مجموع دیرکرد و زودکرد در حالت‌های وزنی و میانگین(کل) ، اشاره نمود. نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی، در فصل پنجم بیان شده است.

فصل دوم
مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- مقدمه

زمان‌بندی یکی از جنبه‌های مهم در تصمیم‌گیری‌های کارگاهی در سطح عملیاتی است. اهمیت و ارتباط آن با صنعت، محققان را برآن داشته تا از جنبه‌های مختلف به این مقوله مهم توجه داشته باشند. با افزایش توجه به سیستم‌های تولیدی مشتری محور و تولید به موقع در مسائل زمان بندی، توجه به معیار کمینه کردن دیرکرد و زودکرد بیشتر شده است. معیارهای مرتبط با زودکرد شامل کل زودکرد یا بیشینه زودکرد نمایانگر توجه تولیدکننده به بعد داخلی تولید مانند موجودی کالای تکمیل شده است. از طرف دیگر، هزینه های مرتبط با دیرکرد مانند کل یا بیشینه دیرکرد و تعداد کارهای دیرکرددار، نمایانگر توجه تولیدکننده به بعد خارجی تولید یعنی رضایت مشتری است.

ادبیات موضوع مسائل زمان‌بندی حوزه وسیع حالات قطعی تا احتمالی، مسائل ایستا تا پویا، مسائل تک ماشین تا مسائل چند ماشین، زمان‌بندی تک هدفه و چندهدفه را در برمی گیرد. پیچیدگی مسائل زمان‌بندی، توجه به مدل‌های واقعی‌تر و درک بهتر شرایط پویا در محیط زمان‌بندی، نیازمند بکارگیری الگوریتم‌های ابتکاری و روش‌های زمان‌بندی کارا است.

با توجه به اینکه کارایی رویکرد پیشنهادی مطرح شده در این پایان‌نامه، در حل انواع مختلفی از مسائل زمان‌بندی تک ماشین شامل دیرکرد و زودکرد، مورد بررسی قرار می‌گیرد، در این فصل تلاش شده است ضمن طبقه‌بندی مسائل مربوطه مطابق با هدف آتی تحقیق، مهمترین پژوهش‌های صورت گرفته در هر بخش معرفی‌گردد. در این فصل همچنین، معروف‌ترین و متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در حل مسائل زمان‌بندی عملیات معرفی می‌شود.

۲- ۲- معرفی انواع توابع هدف و فرضیات مختلف مسائل زمان‌بندی

زمان‌بندی تولید به تخصیص منابع در طول زمان به منظور تولید کالا مرتبط است. مسائل زمان‌بندی، هنگامی‌که مجموعه‌ای از منابع مانند نیروی کار، مواد تجهیزات و غیره بایستی در جهت ساخت محصولات متنوع متفاوتی در طول دوره یکسانی از زمان بکار رود، پدید می‌آید. هدف از زمان‌بندی یافتن روشی به منظور تخصیص منابع مشترک و همچنین تعیین توالی آن‌ها به نحوی است که هزینه‌های تولید ضمن برآورده شدن محدودیت‌ها، حداقل گردد[۴].

۲-۲-۱- معرفی انواع توابع هدف

به منظور تعریف یک مسئله زمان‌بندی، فرض کنید n تعداد کارهایی است که بایستی پردازش گردد و P_i ، r_i ، d_i و w_i به ترتیب زمان پردازش، زمان آماده‌سازی، موعد تحویل و وزن مرتبط با کار i باشد. در یک زمان‌بندی داده شده، به ازای کار i، C_i بعنوان زمان تکمیل کار، $F_i = C_i - r_i$ زمان در گردش ، $L_i = C_i - d_i$ مغایرت زمان تکمیل کار و موعد تحویل، $T_i = max\{0, C_i - d_i\}$ دیرکرد، $E_i = max\{0, d_i - C_i\}$ زودکرد و U_i متغیری صفر و یک است که برای نمایش تعداد کارهای دیرکرددار، بکار می‌رود. در صورتی که کار به موقع یا قبل از موعد تحویل خود آماده گردد، U_i مقدار صفر و چنانچه بعد از موعد تحویل خود تکمیل گردد، مقدار یک را می‌گیرد.

از جمله معیارهای عملکرد سنتی در بحث زمان‌بندی ماشین، به حداقل سازی کل زمان در گردشF، کل دیرکردT، حداکثر دیرکردT_{max} و حداکثر زودکردE_{max} ، تعداد کارهای دیرکرددارU و غیره می‌توان اشاره نمود. چنانچه کارها دارای اهمیت یکسان نباشند، معیار وزنی معادل هر معیار قابل محاسبه است.

مسئله زمان‌بندی زودکرد و دیرکرد را می‌توان با فرض موعدتحویل مشترک[۱۰] یا موعد تحویل متفاوت[۱۱] برای کارها (قطعات) در نظر گرفت. موعد تحویل مشترک برای همه کارها، در نمونه‌های مونتاژ سیستم های تولیدی که در آن قطعات تولید شده باید در یک تاریخ از پیش تعیین شده برای مونتاژ نهایی آماده شوند و همچنین در سیستم برنامه‌ریزی احتیاجات مواد[۱۲] که موعدهای تحویل برای اجزای با سطح پایین از موعدهای تحویل سطح والد آن محاسبه می‌شود، قابل کاربرد است. موعد تحویل مشترک می تواند بعنوان بخشی از مسئله تعیین شده باشد یا بصورت متغیر تصمیم در نظر گرفته شود که بطور همزمان همراه با توالی کارها تعیین می‌گردد. موعدتحویل متفاوت برای کارها در یک سیستم کار کارگاهی و همچنین در سیستم سفارش که در آن موعدتحویل با توافق میان مشتری و عرضه کننده تعیین می‌شود، نیز قابل کاربرد است.

به منظور دسترسی به جزئیات بیشتر پیرامون معیارهای عملکرد بکاررفته در زمان‌بندی، می توان به کتاب بیکر[۵] تحت عنوان« Introduction to sequencing and scheduling» و یا کتاب فرنچ[۶] تحت عنوان« Sequencing and Scheduling» مراجعه نمود.

---

[۱۰] Common Due Date

[۱۱] Distinct Due Date

[۱۲] Material Requirement Planning

۲-۲-۲- معرفی انواع محیط‌های تولیدی و فرضییات مختلف

توابع عملکرد مختلف را می‌توان برای محیط‌های مختلف تک ماشین، ماشین‌های موازی، کارگاهی و گردش-کاری و غیره، با فرض‌های مختلف بررسی کرد، که در ادامه به برخی از آن اشاره می‌شود.

- زمان‌بندی تک‌ماشینه را می‌توان به‌صورت تخصیص و یا پردازش گروهی از کارها برروی یک منبع (ماشین) تعریف نمود که ماشین در هر لحظه قادر است تنها یکی از کارها را پردازش کند. مسائل تک‌ماشین مبنایی برای مدل‌های پیچیده‌تر می‌باشد. همچنین در بسیاری از موارد یک ماشین نسبت به بقیه ماشین‌ها حالت گلوگاه را داشته و بنابراین بررسی آن به‌صورت یک ماشین منفرد ممکن است خواص کل برنامه تولیدی را مشخص سازد. در سایر مواقع، ممکن است بتوان کل امکانات تولیدی کارگاه را به‌عنوان یک منبع منفرد و یا یک ماشین مورد بررسی قرار داد که در این حالت می‌توان از مدل تک‌ماشینه برای تحلیل آن استفاده نمود.
- در حالت ماشین‌های موازی، تعدادی ماشین مشابه (از لحاظ فرآیند مربوطه) در دسترس هستند و هر کار می-تواند روی هر یک از این ماشین‌ها پردازش شود. این سیستم خود از لحاظ ویژگی‌های ماشین‌ها از قبیل سرعت پردازش، کیفیت محصولات تولیدی و هزینه تولید به سه دسته ماشین‌های موازی یکسان[۱۳] ، ماشین‌های موازی مرتبط[۱۴] و ماشین‌های موازی غیرمرتبط[۱۵] تقسیم می‌شود. در شرایط ماشین‌های موازی یکسان فرض می‌شود که زمان‌های پردازش کارها، زمان‌های آماده‌سازی و هزینه‌های تولیدی برای تمام ماشین‌ها باهم برابر هستند. در محیط ماشین‌های موازی مرتبط، شرایط تولیدی برای ماشین‌ها یکسان نیست ولی به‌یکدیگر مربوط می‌شود به‌عنوان مثال ممکن است زمان‌های پردازش کارها روی یکی از ماشین‌ها به‌اندازه ضریب ثابتی از زمان‌های پردازش روی ماشین دیگر باشد. در محیط ماشین‌های موازی غیرمرتبط شرایط تولیدی برای هریک از ماشین‌ها با سایر ماشین‌های تولیدی متفاوت است و هریک از آنها زمان‌های پردازش، زمان‌های آماده‌سازی، هزینه‌های تولید و سایر خصوصیات خاص خودشان را دارند.
- کارها در حالت جریان کارگاهی[۱۶] برای تکمیل فرایند تولیدشان لازم است تا مجموعه پردازش‌های یکسانی را به یک ترتیب مشابه دنبال کنند. در این حالت فرض می‌شود که ماشین‌آلات به‌صورت خط تولید در کنار هم قرار گرفته‌اند. در این سیستم ممکن است برخی از کارها به پردازش در برخی مراحل نیاز نداشته باشند ولی به هر حال جهت جریان در همه محصولات یکسان است.
- در حالت کارکارگاهی[۱۷] همانند جریان کارگاهی هریک از کارها برای تکمیل فرایند پردازش می‌بایست از تعدادی ماشین یا ایستگاه تولیدی عبور کنند. در این محیط برخلاف سیستم جریان کارگاهی لزومی ندارد تا مسیر حرکت کارها از میان ماشین‌آلات باهم یکسان باشد و هرکدام از کارها می‌توانند به‌صورت دلخواه بروی تعدادی از ماشین‌ها قرار گیرند.

---

[۱۳] identical

[۱۴] related

[۱۵] non-related

[۱۶] flow shop

[۱۷] job shop

- در سیستم کارگاهی باز[۱۸] محیط تولیدی مشابه کار کارگاهی است با این تفاوت که هر توالی مراحل پردازش هر کار از پیش تعیین شده نیست. به‌عبارت دیگر، هیچ تقدم وتأخر عملیاتی در فرآیند تولید محصولات وجود ندارد و فقط مشخص می‌شود که هرکدام از کارها برای کامل شدن به چه پردازش‌هایی نیاز دارند. معمولاً هدف در این سیستم تولیدی حداقل‌سازی زمان اتمام کلیه کارها است.

فرضیاتی که در مورد اکثر مسائل زمان‌بندی پایه در نظر گرفته می‌شود عبارتست از اینکه، زمان‌ها با قطعیت مشخص هستند، زمان‌های آماده‌سازی مستقل از توالی پردازش کارها هستند، تمامی کارها بلافاصله در دسترس هستند $(r_i = 0)$ ، روابط پیشنیازی خاصی بین کارها وجود ندارد و زمانی‌که پردازش کاری آغاز می‌گردد، انقطاعی صورت نمی‌گیرد. برای انطباق هر چه بیشتر مسائل زمان‌بندی با مسائل کاربردی فرضیات زیر درنظر گرفته می‌شود.

- ورود غیرهمزمان کارها: در بسیاری از محیط‌های عملی ممکن است کارها در زمان شروع دردسترس نبوده و درحین زمان‌بندی وارد شوند. در چنین حالتی فرض ورود غیر همزمان کارها درنظر گرفته می‌شود.
- زمان و هزینه آماده‌سازی: این زمان و هزینه می‌تواند ناشی از تعویض قالب‌ها و فیکسچرها، تمیز کردن دستگاه، تنظیم مجدد دستگاه و یا سایر عوامل هنگام قرارگیری کار بر روی ماشین باشد. زمان‌های آماده‌سازی به دو دسته وابسته به ترتیب و مستقل از ترتیب قرار گرفتن کارها تقسیم‌بندی می‌شوند. درحالتی‌که زمان آماده‌سازی مستقل از ترتیب باشد برای پردازش هریک از کارها مقدار ثابت و مشخصی زمان و هزینه آماده‌سازی منظور می‌شود که به‌راحتی می‌توان آن را با زمان پردازش هر کار جمع نمود. در حالت زمان‌های آماده‌سازی وابسته به ترتیب، مقدار زمان و هزینه صرف شده برای انتقال از هر کار به کار دیگر متفاوت است و بنابراین توالی قرار گرفتن کارها روی یک دستگاه کاملاً بر میزان آماده‌سازی تاثیرگذار خواهد بود.
- محدودیت دسترسی: در برخی مواقع ممکن است ماشین‌آلات تولیدی در طول افق زمان‌بندی برای مدت زمانی در دسترس نباشند. این عدم دردسترس بودن ماشین‌ها می‌تواند به دلائل مختلفی از جمله خرابی ماشین، عملیات نگهداری و تعمیرات و یا هر عامل دیگری اتفاق بیافتد.
- انقطاع در پردازش کار: در حالت با انقطاع می‌توان کارها را قبل از اینکه پردازششان روی دستگاهی تمام شده باشد، برداشت. حالت با انقطاع به دو دسته ازسر گرفتنی و پی گرفتنی تقسیم‌بندی می‌شود. در صورتی‌که پردازش کارها پی‌گرفتنی باشد اگر کاری را قبل از اتمام فرایند پردازش از روی ماشینی برداریم می‌توان آنرا مجدداً از نقطه‌ای که پردازش آن منقطع شده است ادامه داد ولی اگر شرایط ازسرگرفتنی برای کارها حاکم باشد و یک کار قبل از تکمیل شدن از روی ماشین برداشته شود می‌بایست مجدداً پردازش آن از ابتدا تکرار شود. یک حالت سومی نیز در برخی از مسائل زمان‌بندی مطرح می‌شود که به کارهای نیمه پی‌گرفتنی شناخته می‌شود. در این حالت اگر کاری منقطع شود می‌توان با صرف مقداری زمان آماده‌سازی مجدداً آن‌را از همان نقطه‌ای که منقطع شده پردازش نمود.

[۱۸] open shop

- زوال[۱۹]: اگر در یک مسئله‌ی زمان‌بندی، مدت زمان پردازش کارها با گذشت زمان و یا تغییر مکان آنها در توالی تغییر کند، (افزایش یا کاهش یابد) این مسئله‌ی زمان‌بندی، رو به زوال نامیده می‌شود. در بعضی شرایط، تاخیر در انجام کار باعث افزایش مدت زمان پردازش آن می‌شود. به عنوان مثال در صنایع فولاد، تاخیر در استفاده از پاتیل ذوب موجب افزایش مدت زمان عملیات با گذشت زمان می‌شود. در بسیاری از موارد، فرض ثابت بودن مدت زمان پردازش کارها با فرسوده شدن ماشین‌آلات و ابزارآلات تولیدی آنها صحیح نخواهدبود.
- یادگیری[۲۰] : زمان لازم برای تولید یک واحد کالا با پردازش واحدهای اضافی، بطور پیوسته کاهش می‌یابد. یادگیری نیز همانند زوال می‌تواند دلائل مختلفی داشته باشد که از جمله آن می‌توان به افزایش سرعت عملکرد اپراتور در اثر کسب تجربه اشاره کرد.
- محدودیت‌های پیش‌نیازی: این محدودیت هنگامی‌که برخی از کارها نسبت به برخی دیگر دارای اولویت بیشتری بوده و لازم باشد زودتر انجام شوند، تعریف می‌گردد.
- بلوکه شدن کارها[۲۱]: چنانچه پردازش یک کار روی ماشینی به اتمام برسد ولی ماشین بعدی قابلیت پذیرش آن کار را نداشته باشد و در ضمن بافر یا فضایی برای ذخیره نمودن کارهای نیمه‌تمام بین ماشین‌آلات وجود نداشته باشد، به‌ناچار می‌بایست کار مربوطه تا لحظه آزاد شدن ماشین دوم برروی ماشین قبلی نگه‌داشته شده و یا اصطلاحاً بلوکه شود.

۲-۳- معرفی انواع روش‌های حل در مسائل زمان‌بندی

بسیاری از مسائل بهینه‌سازی از بعد عملی و تئوری، شامل جستجو برای یافتن «بهترین» شکل مجموعه‌ای از متغیرها، برای دستیابی به برخی اهداف می‌باشد. از یک جنبه می‌توان مسائل بهینه‌سازی را به دو دسته تقسیم‌بندی نمود: مسائلی که در آن‌ها جواب‌ها توسط متغیرهایی با مقادیر حقیقی فرموله شده‌اند و مسائلی که در آن‌ها متغیرها توسط متغیرهای گسسته فرموله شده‌اند. در حیطه دسته دوم، می توان به طبقه‌ای از مسائل با نام بهینه‌سازی ترکیبی[۲۲] اشاره نمود. در مسائل بهینه‌سازی ترکیبی، بر طبق پاپادیمیتریو و استیگلیتز[۷]، ما به دنبال یافتن شی در میان مجموعه‌ای متناهی یا نامتناهی قابل شمارش هستیم. این شی معمولا یک عدد صحیح، یک مجموعه، یک جایگشت و یا ساختار گرافی است. بنابراین می توان گفت بهینه‌سازی ترکیبی، جستجو برای یافتن نقطه بهینه در توابع با متغیرهای گسسته است[۸]. تنوع مسائل بهینه-سازی ترکیبی از این واقعیت نشأت می‌گیرد که در بسیاری از مسائل عملی، فعالیت‌ها و منابع مانند ماشین‌ها، هواپیماها و انسان‌ها تقسیم ناشدنی هستند[۲].

حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی، یعنی پیدا کردن جواب بهینه برای این مسائل ممکن است دشوار باشد. مشکل بودن این کار به این دلیل است که برخلاف برنامه‌ریزی خطی، محدوده امکان‌پذیر مسئله بهینه‌سازی ترکیبی یک مجموعه محدب نیست. در برنامه‌ریزی خطی، بواسطه محدب بودن مسئله، از این واقعیت که جواب بهینه محلی، جواب بهینه جهانی نیز می‌باشد، می‌توان استفاده نمود. بنابراین به منظور دستیابی به جواب بهینه در مسائل بهینه‌سازی ترکیبی، بایستی

---

[۱۹] deterioration

[۲۰] Learning effect

[۲۱] blocking

[۲۲] Combinatorial Optimization

به جستجو در میان شبکه‌ای از نقاط امکان‌پذیر پرداخت و یا در حالت اعداد صحیح مختلط، به جستجوی مجموعه نیم-خط‌های مجزا[۲۳] یا بخش‌های خطی[۲۴] پرداخت [۲].

از آن‌جا که از نظر ریاضی طرق مختلفی برای نمایش یک مسئله وجود دارد، همچنین دستیابی به جواب بهینه در مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح بزرگ در مدت زمان معقول، تا حد زیادی بستگی به طرز فرمول‌بندی آن مسئله دارد، اخیراً پژوهش‌های زیادی بر روی فرمول‌بندی مجدد مسائل بهینه‌سازی ترکیبی صورت گرفته است. در مورد دو نوع فرمول‌بندی کاملاً متفاوت می‌توان به مثالی از مسئله زمان‌بندی کارگاه- ماشین اشاره نمود. فرمول‌بندی‌های ابتدایی این مسئله، از رویکرد مستقیم رو به جلو در تعریف متغیرهای تصمیم، یعنی زمانی که کار i روی ماشین j بایستی آغاز گردد، استفاده می نمودند. در حالی که فرمول‌بندی جایگزین، برنامه‌های زمان‌بندی امکان‌پذیر هر ماشین را ایجاد و سپس به ترکیب این زمان‌بندی‌ها برای دستیابی به جواب‌های شدنی برای هر کار می‌پردازد [۲].

رویکردهای کاملاً مختلفی برای حل یک مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و همچنین مسائل بهینه‌سازی ترکیبی وجود دارد. در این قسمت، متداول‌ترین و مهمترین رویکردهای بکار رفته در ادبیات موضوع معرفی می‌گردد. به منظور دسترسی به توضیحات جامع‌تر می توان به مراجع[۲] و[۱] مراجعه نمود.

- استراتژی های حل دقیق شامل رویکردهای شمارشی، شاخه و کران، روش‌های آزادسازی لاگرانژی و روش‌های تجزیه و برنامه‌ریزی پویا
- روش‌های ابتکاری و فراابتکاری شامل روش‌های جستجو محلی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم آنلینگ شبیه-سازی شده، الگوریتم مورچگان، روش جستجوی ممنوع، شبکه‌های عصبی، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم کولونی زنبورها، الگوریتم جستجوی فاخته، بهینه‌سازی انبوه ذرات، جستجوی همسایگی متغیر، جستجوی هدایت شده، جستجوی محلی تکرار شونده و غیره.
- برنامه‌ریزی محدودیتی
- تولید ستون

در ادامه سعی بر این است که ضمن معرفی اجمالی روش‌های فوق، منابع موردنیاز برای دسترسی به توضیحات جامع و تکمیلی پیرامون هر رویکرد ذکر گردد.

۲-۳-۱- استراتژی‌های حل دقیق

رویکردهای مختلفی برای حل یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح وجود دارد که اخیراً به منظور دستیابی به مزایای هر رویکرد، جواب‌های ترکیبی[۲۵] ،که حاصل ترکیب رویکردهای مختلف است، استفاده می‌شود. از جمله این روش‌ها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

---

[۲۳] Disjoint half-lines

[۲۴] Line segments

[۲۵] hybrid