دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی صنایع

عنوان:

مسأله‌ی زمان‌بندی تک ماشین دو عاملی با در نظر گرفتن جریمه‌های زودکرد و دیرکرد

پژوهشگر:

جعفر اعتقادی پور

استاد راهنما:

دکتر فردین احمدی‌زر

استاد مشاور:

دکتر جمال ارکات

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع

شهریور ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه کردستان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی صنایع

عنوان:

مسأله‌ی زمان‌بندی تک ماشین دو عاملی با در نظر گرفتن جریمه‌های زودکرد و دیرکرد

پژوهشگر:

جعفر اعتقادی پور

استاد راهنما:

دکتر فردین احمدی‌زر

استاد مشاور:

دکتر جمال ارکات

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع

شهریور ماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب جعفر اعتقادی پور دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی گروه مهندسی صنایع تعهد می‌نمایم که محتوای این پایان‌نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

جعفر اعتقادی پور

۱۳۹۲ / / /

دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع

عنوان:

مسأله‌ی زمان‌بندی تک ماشین دو عاملی با در نظر گرفتن جریمه‌های زودکرد و دیرکرد

پژوهشگر:
جعفر اعتقادی پور

در تاریخ / / ۱۳ توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر فردین احمدی‌زر	استادیار	
۲ـ استاد مشاور	دکتر جمال ارکات	استادیار	
۳ـ استاد داور خارجی	دکتر عیسی نخعی	استاد	
۴ـ استاد داور داخلی	دکتر هیوا فاروقی	استادیار	

مهر و امضاء گروه

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

تقدیم به

پدر، مادر و خانواده‌ی عزیزم؛

اساتید گرانقدر و دوستان مهربانم؛

کشور سربلندم، ایران در سیزدهم مردادماه یک هزار و سیصد و نود و دو.

تقدیر

از اســـتاد راهنمای عزیزم، دکتر فردین احمدی‌زر کمال ســـپاس و قدردانی را دارم و امیدوارم همچون ایشان همواره در خدمت اعتلای ایران عزیز بکوشم.

مراتب ارادت و قدردانی خویش را از اســتاد علم و اخلاقم در دانشگاه کردستان، دکتر جمال ارکات ابراز می‌دارم و آرزوی سلامتی و پایداری برای ایشان دارم.

همچنین، از دوستانم برای بودنشان صمیمانه متشکرم.

چکیده

این تحقیق به بررسی مسأله‌ی زمان‌بندی تک ماشین با دو عامل استفاده کننده می‌پردازد. استفاده‌ی همزمان دو یا چند عامل از یک ماشین مشترک، یکی از مهم‌ترین مفروضاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین بوده است. دو عامل مستقل هر یک دارای مجموعه‌ای از کارها هستند و می‌خواهند آنها را با توجه به هدف خود روی یک ماشین مشترک زمان‌بندی کنند. تمام کارها در زمان صفر در دسترس بوده و پردازش آنها بدون وقفه صورت می‌گیرد. زمان پردازش کارها و موعد تحویل آنها قطعی و مشخص است. رویکرد هر دو عامل تحویل به هنگام کارهای مربوط به خود است و هدف مسأله زمان‌بندی تمام کارها است به طوری که مجموع زودکردها و دیرکردهای مربوط به کارهای عامل اول کمینه شود به شرطی که هیچ یک از کارهای عامل دوم زودکرد یا دیرکردی بیش‌تر از یک حد مشخص نداشته باشد. به دلیل بی قاعده بودن تابع هدف، وجود بیکاری‌های غیرضروری بین پردازش کارها می‌تواند مفید باشد و این موجب افزایش پیچیدگی مسأله می‌شود. این مسأله با دو رویکرد مختلف مدل‌سازی شده است و پس از آن، مجموعه‌ای از ویژگی‌ها و قواعد برتری جواب‌ها به صورت قضایای غلبه ارائه و اثبات شده‌اند. به دلیل پیچیدگی مسأله، نمی‌توان یک الگوریتم با زمان حل چندجمله‌ای برای آن ارائه داد. در نتیجه، دو الگوریتم بهبود حریصانه و شش الگوریتم ابتکاری جست‌وجوی محلی با ایده‌های مختلف برای حل مسأله‌ی مذکور توسعه داده شده است. در پایان، به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های مختلف، تعدادی مسأله‌ی نمونه طراحی و حل شده است. نتایج محاسباتی کارآیی الگوریتم‌های ارائه شده را نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: زمان‌بندی دو عاملی، تک ماشین، تحویل بهنگام، قواعد غلبه، الگوریتم ابتکاری

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول (کلیات تحقیق) ۲

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- بیان کلی مسأله ۴

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق ۵

۱-۴- اهداف تحقیق ۶

۱-۵- مراحل انجام تحقیق ۷

فصل دوم (مروری بر ادبیات موضوع) ۸

۲-۱- زمان‌بندی چند عاملی ۹

۲-۲- رویکردهای ترکیب توابع هدف ۱۰

۲-۳- پیشینه‌ی تحقیق ۱۱

۲-۳-۱- قبل از سال ۲۰۰۹ ..... ۱۱

۲-۳-۲- سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ ..... ۱۴

۲-۳-۳- بعد از سال ۲۰۱۰ ..... ۱۷

۲-۴- پیچیدگی مسایل ۲۰

۲-۵- دسته بندی مسایل ۲۷

۲-۵-۱- محیط ماشین ۲۸

۲-۵-۲- محدودیت‌های جانبی ۲۸

۲-۵-۳- تعداد عوامل و نوع تابع هدف ۲۹

۲-۵-۴- رویکرد ترکیب اهداف ۳۰

۲-۵-۵- رویکرد حل ۳۰

فصل سوم (مدل‌سازی و ارائه‌ی راه حل) ۳۲

۳-۱- تعریف و مدل‌سازی مسأله ۳۳

۳-۱-۱- مفروضات مسأله ۳۳

۳-۱-۲- مدل‌سازی مسأله ۳۵
۳-۲- قضایا و شرایط لازم بهینگی ۴۱
۳-۲-۱- ویژگی‌های غلبه ۴۱
۳-۲-۲- قضایای بهینگی ۴۵
۳-۳- رویکردهای حل مسأله ۴۷
۳-۳-۱- رویکرد بهبود حریصانه ۴۸
۳-۳-۱-۲- الگوریتم بهبود حریصانه ۱ (GI 1) ۴۸
۳-۳-۱-۲- الگوریتم بهبود حریصانه ۱ (GI 2) ۴۹
۳-۳-۲- رویکرد جست‌وجوی محلی ۵۰
۳-۳-۲-۱- سه الگوریتم جست‌وجوی محلی ساده ۵۰
۳-۳-۲-۲- سه الگوریتم جست‌وجوی محلی با ایجاد تنوع ۵۳
فصل چهارم (نتایج محاسباتی) ۵۸
۴-۱- تولید مسایل نمونه ۵۹
۴-۲- نتایج محاسباتی ۶۰
۴-۲-۱- مقایسه‌ی مدل‌ها ۶۰
۴-۲-۲- مقایسه‌ی روش‌های حل ۶۳
فصل پنجم (جمع‌بندی و نتیجه‌گیری) ۱۰۲
۵-۱- جمع‌بندی ۱۰۵
۵-۲- نتایج و پیشنهادات آتی ۱۰۶
منابع و مراجع ۱۰۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: نمادهای به کار رفته در جدول ۲-۲ ..... ۲۱

جدول ۲-۲: پیچیدگی مسایل مطرح شده در حوزه‌ی زمان‌بندی چند عاملی ۲۲

جدول ۲-۳: پیچیدگی مسایل مطرح شده در [۴۷] با رویکرد بهینه‌سازی مجموع اهداف..... ۲۶

جدول ۲-۴: پیچیدگی مسایل مطرح شده در [۴۷] با رویکرد بهینه‌سازی محدودیت دار..... ۲۸

جدول ۲-۵: دسته‌بندی تحقیقات بر اساس محیط ماشین ۲۹

جدول ۲-۶: دسته‌بندی تحقیقات بر اساس محدودیت‌های جانبی ۳۰

جدول ۲-۷: دسته‌بندی تحقیقات بر اساس تعداد عوامل و نوع تابع هدف ۳۱

جدول ۲-۸: دسته‌بندی تحقیقات بر اساس رویکرد ترکیب توابع هدف ۳۱

جدول ۲-۹: دسته‌بندی تحقیقات بر اساس الگوریتم حل ارائه شده ۳۲

جدول ۳-۱: نمایش وضعیت‌های مختلف در حالت ۱ ..... ۴۲

جدول ۴-۱: شماره‌گذاری مسایل نمونه ۶۰

جدول ۴-۲: نتایج حاصل از حل چند مثال کوچک توسط مدل‌های دوم و سوم ۶۲

جدول ۴-۳: درصد انحراف نسبی الگوریتم‌های CPLEX، بهبود حریصانه و جست‌وجوی محلی ساده برای مثال‌های با اندازه‌ی کوچک..... ۶۴

جدول ۴-۴: درصد انحراف نسبی الگوریتم‌های جست‌وجوی محلی با ایجاد تنوع برای مثال‌های با اندازه کوچک ۷۲

جدول ۴-۵: درصد انحراف نسبی الگوریتم‌های CPLEX، بهبود حریصانه و جست‌وجوی محلی ساده برای مثال‌های با اندازه‌ی بزرگ ۸۰

جدول ۴-۶: درصد انحراف نسبی الگوریتم‌های جست‌وجوی محلی با ایجاد تنوع برای مثال‌های با اندازه بزرگ ۹۱

جدول ۴-۷: میانگین کل درصد انحراف نسبی برای تمام مثال‌ها ۱۰۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱: نمایش یک جواب موجه ۳۵

شکل ۳-۲: جابجایی دو کار همسایه i و j ۴۳

شکل ۳-۳: در جواب بهینه بین k و $k+1$ بیکاری وجود ندارد ۴۶

شکل ۳-۴: کار k به اندازه I' به راست کشیده شده است ۴۷

شکل ۳-۵: کار k به اندازه I' به چپ کشیده شده است ۴۸

شکل ۳-۶: نحوه‌ی عملکرد تابع تعبیه ۵۵

فصل اول (کلیات تحقیق)

۱-۱- مقدمه

تئوری زمان‌بندی برای حل مسایلی که در محیط‌های مختلف تولیدی و خدماتی رخ می‌دهند، توسعه داده شده است. مسأله‌ی پایه‌ی زمان‌بندی را می‌توان به این صورت بیان کرد: یافتن یک بازه‌ی زمانی برای پردازش هر یک از کارها بر روی یکی از منابع یا ماشین‌های در دسترس، به طوری که محدودیت‌های جانبی رعایت شده باشد. واضح است که این امر باید به صورتی انجام شود که جواب حاصل (یک برنامه) بهترین جواب ممکن باشد؛ یعنی، یک تابع هدف مشخص را بهینه کند. پس از آن که اولین تحقیق در سال ۱۹۵۴ در زمینه‌ی زمان‌بندی منتشر شد، تاکنون گونه‌های مختلفی از مسأله‌ی پایه با تغییر در محیط ماشین، محدودیت‌های جانبی و تابع هدف، بررسی شده‌اند. یکی از ساختارهای جدید وارد شده به این مسایل، زمان‌بندی چند عاملی[1] است. در این حالت، چند گروه از کارها با اهدافی که لزوماً یکسان نیستند، باید بر روی منابع (ماشین‌های) مشترکی زمان‌بندی شوند.

به طور کلی، مطالعه‌ی مسایل زمان‌بندی که در آن چندین عامل[2] (کاربر، تصمیم‌گیرنده) در استفاده از منابع مشترکی به رقابت می‌پردازند به دو حوزه‌ی تئوری بازی‌های تعاونی[3] و بهینه‌سازی چندهدفی نزدیک می‌شود. در مورد اول که از نمونه‌های بارز آن بازی‌های توالی‌یابی[4] است، عوامل مختلف با توجه به محدودیت‌ها و اهداف خود، یک توالی برای پردازش کارهای خود تعیین می‌کنند. کورل[5] و همکاران [۱] این مسأله را با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ی کل تخصیص بررسی کرده‌اند و برای آشنایی بیشتر می‌توان به آن مراجعه کرد. در مورد دوم، به مسأله‌ی زمان‌بندی چند عاملی به عنوان حالت خاصی از یک مسأله‌ی زمان‌بندی چندهدفی نگاه می‌شود.

تا اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰، در مسایل زمان‌بندی فقط یک تابع هدف یا معیار سنجش در نظر گرفته می‌شد. اما گاهی اوقات، کیفیت دارای ابعاد مختلفی است. مثلاً برای یک کارخانه، کم بودن موجودی در حال پردازش و نیز تحویل به موقع سفارشات دو عامل مؤثر در کیفیت یک برنامه‌ی زمان‌بندی است. همچنین، طبق اهداف مدیریت، معیارهای دیگری هم می‌تواند بر کیفیت یک جواب (برنامه)

---

[1] Multi-agent scheduling

[2] Agent

[3] Cooperative game theory

[4] Sequencing games

[5] Curiel

تأثیر بگذارد. اگر فقط یک معیار را در نظر بگیریم، صرف نظر از اینکه کدام معیار باشد، جواب حاصل تعادل کیفیت نخواهد داشت و بهترین کیفیت ممکن را تضمین نخواهد کرد. برای دستیابی به یک تعادل کیفیت، باید کیفیت یک جواب برحسب تمام معیارهای مهم اندازه‌گیری شود. این نکته منجر به توسعه‌ی حوزه‌ی زمان‌بندی چندهدفی شده است. بیشتر تحقیقات، هوگوین[۶] [۲] و کیندت و بیلاوت[۷] [۳] را از منابع مفید در این زمینه دانسته‌اند.

زمان‌بندی دوهدفی حالتی است که کیفیت یک جواب فقط با دو معیار بیان می‌شود. به طور مثال، اگر یک معیار مجموع زمان‌های تکمیل کارها و دیگری بزرگترین تأخیر اتفاق افتاده باشد، کیفیت یک برنامه‌ی مشخص، از یک طرف تحت تأثیر مجموع زمان‌های تکمیل تمام کارها تحت این برنامه و از طرف دیگر، تحت تأثیر مقدار بزرگترین تأخیر حاصل از اجرای این برنامه روی تمام کارها است. باید توجه کرد که در این شرایط کیفیت تمام کارها به یک صورت سنجیده می‌شود و در واقع تمام کارها از یک نوع و متعلق به یک تصمیم‌گیرنده است.

اما، شرایطی می‌تواند وجود داشته باشد که تحت آن، هدف از انجام تمام کارها یکسان نباشد، یا حتی با وجود یکسان بودن اهداف، تمام کارها متعلق به یک تصمیم‌گیرنده نباشد. در این شرایط، ما وارد حوزه‌ی زمان‌بندی چند عاملی می‌شویم. به حالت خاصی که فقط دو عامل استفاده کننده از منابع مشترک وجود دارد، زمان‌بندی دو عاملی گفته می‌شود. در فصل دوم به بررسی ادبیات حوزه‌ی زمان‌بندی چند عاملی پرداخته شده است.

۱-۲- بیان کلی مسأله

در این تحقیق، مسأله‌ی زمان‌بندی تک ماشین[۸] با دو عامل در نظر گرفته می‌شود. دو مجموعه از کارها که هر کدام مربوط به یک عامل مستقل هستند، باید بر روی یک ماشین که به صورت مشترک توسط دو عامل استفاده می‌شود زمان‌بندی شوند. ماشین همواره در دسترس است. تمام کارهای مربوط به هر دو عامل نیز در لحظه‌ی شروع برنامه در دسترس بوده و بدون وقفه[۹] پردازش می‌شوند؛

---

[6] Hoogeveen

[7] T'kindt & Billaut

[8] Single machine

[9] Non-preemptive

یعنی، پس از شـــروع پردازش یک کار نمی‌توان پردازش آن را به صـــورت نیمه‌کاره رها کرد. به عبارت دیگر، اگر پردازش کاری شـروع شـود، ماشـین پردازش آن کار را حتماً قبل از هرگونه توقفی به پایان خواهد رسـاند. هر کار دارای یک زمان تحویل[10] از قبل مشخص شده است. رویکرد هر دو عامل تحویل بهنگام کارهای مربوط به خود اســت و میزان دیرکرد[11] یا زودکرد[12] نســبت به زمان تحویل به عنوان هزینه محسـوب می‌شـود. مقدار هزینه‌ی وارد شـده به مسـأله برای زودکرد و دیرکرد تمام کارها و در طول زمان یکسان است.

هدف مسـأله، تعیین یک جواب اسـت به صـورتی که مقدار هزینه کل برای کارهای مربوط به عامل اول کمینه شود به شرطی که بیشترین مقدار هزینه‌ی مربوط به کارهای عامل دوم از یک حد مشخص تجـاوز نکنـد. بـا توجه به اینکه تابع هدف این مســأله بی‌قاعده[13] اســت، ممکن اســت بیکاری‌های غیرضـــروری بین کارها مفید باشـد؛ به عبارت دیگر، ممکن اســت در شـــرایطی که ماشـــین و کار در دســـترس هســـتند، پردازش به تعویق بیافتد و این موضـــوع موجب بهبود در مقدار تابع هدف شـــود. بنابراین، زمان‌بندی کارها بر روی ماشـــین شـــامل تعیین توالی و نیز تعیین زمان شـــروع پردازش آنها اسـت. در حالت خاصـی از این مسـأله که تمام کارها مربوط به یک عامل باشـد، مسأله در کلاس NP-hard قرار می‌گیرد [۲]، لذا این مسأله نیز جزء همین کلاس پیچیدگی خواهد بود.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

تعیین توالی و زمان‌بندی کارها نوعی تصمیم‌گیری است که نقش مهمی در محیط‌های صنعتی و خدماتی ایفا می‌کند. امروزه در بازار رقابتی جهانی، داشتن یک برنامه‌ی زمان‌بندی مؤثر لازمه‌ی حیات صنعتی است. شرکت‌ها باید طوری فعالیت‌های خود را زمان‌بندی کنند که از منابع در دسترس بهترین استفاده را داشته باشند.

محیط تک ماشـین پایه‌ای‌ترین محیط اسـت، چرا که حالت خاصی از تمام محیط‌های ماشینی دیگر است. نتایج حاصل از مطالعه‌ی محیط تک ماشین، نه تنها به شناخت بیشتر آن کمک می‌کند، بلکه در تحلیل سـیستم‌های پیچیده‌تر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر مفروضات جدیدی که وارد مسایل زمان‌بندی شـده‌اند، ابتدا در محیط تک ماشین بررسی شده است. در دنیای واقعی نیز مثال‌های زیادی

---

[10] Due date

[11] Tardiness

[12] Earliness

[13] Non regular/ irregular

برای محیط تک ماشـین وجود دارد. ماشـین‌آلات و تجهیزات بسیار گران قیمت معمولاً به صورت تکی مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند. یک باند از یک فرودگاه یا یک اســـکله که به چند شـــرکت حمل‌ونقل سرویس‌دهی می‌کند و یا یک ماشین که در خط تولید، گلوگاه واقع شده است از نمونه‌های این محیط است.

در مسایل زمان‌بندی، نوعاً یک دسته از کارها در نظر گرفته می‌شود که باید بر روی یک یا چند ماشین زمان‌بندی شوند. در واقع، در این مسایل یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد. اما حالتی را در نظر بگیرید که دو یا چند تصمیم‌گیرنده بخواهند از یک منبع استفاده کنند. در این صورت، هر کدام از تصمیم‌گیرندگان هدف خود را دنبال می‌کنند و لذا جای خالی برنامه‌ای که بتواند هم‌زمان در جهت برآوردن اهداف همه تصمیم‌گیرندگان تلاش نماید، احساس می‌شود. مدل توسعه داده شده برای این شرایط زمان‌بندی چند عاملی می‌باشد که اخیراً حالت دو عاملی آن تا حدودی مورد مطالعه قرار گرفته است و هنوز هم مورد توجه محققین است.

نتایج بررسی‌های صورت گرفته حاکی از آن است که اغلب تحقیقات در خصوص زمان‌بندی چند عاملی، با هدف کمینه‌سازی مجموع (وزنی) زمان‌های تکمیل یا بیشترین زمان تکمیل برای کارهای عامل اول انجام شده‌اند؛ تحقیقات اندکی نیز مجموع (وزنی) دیرکردها یا بیشترین دیرکرد را کمینه کرده‌اند. اما استراتژی تحویل به هنگام در مقالات این حوزه مشاهده نشده است. از این‌رو، در این تحقیق تلاش بر آن خواهد بود تا مجموع دیرکردها و زودکردها کمینه شود. در واقع، هدف این است که پردازش تمام کارها در صورت امکان در موعد تحویل آنها به پایان برسد. این هدف در محیط‌هایی که دیرکرد به دلیل خسارات احتمالی وارده به مشتری و متعاقباً اعمال جریمه به سیستم و زودکرد نیز به دلیل تحمیل هزینه‌های نگهداری یا حمل‌ونقل اضافی نامطلوب است، بسیار مفید خواهد بود. از سوی دیگر، در بیشتر تحقیقاتی که تاکنون با توابع هدف بی‌قاعده انجام گرفته‌اند، بیکاری‌های غیرضروری در نظر گرفته نشده‌اند [۱]. شاید این بیکاری‌ها در دنیای امروز در مسایل کمی اتفاق بیفتد؛ اما، تحقیق حاضر با لحاظ کردن آنها مسأله‌ی جامعی را مورد بررسی قرار داده است.

۱-۴- اهداف تحقیق

در این تحقیق، مسأله‌ی زمان‌بندی تک ماشین دو عاملی با هدف کمینه‌سازی جریمه‌های زودکرد و دیرکرد برای عامل اول و رعایت حداکثر مجاز برای زودکرد و دیرکرد کارهای عامل دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد. برخلاف برخی از تحقیقات که در فصل دوم به آنها اشاره خواهد شد، در این تحقیق

بیکاری‌های غیرضروری مورد توجه قرار گرفته و از حضور آنها جهت بهبود تابع هدف مسأله کمک گرفته شده است. اهداف اصلی تحقیق حاضر در پنج مورد به صورت زیر قابل ارائه است:

- مطالعه، بررسی و دسته‌بندی مسایل مربوط به حوزه‌ی زمان‌بندی چند عاملی
- ارائه‌ی مدل ریاضی مسأله‌ی مورد بررسی با دو رویکرد مختلف
- ارائه و اثبات قواعد غلبه که شرایط لازم بهینگی را فراهم می‌کنند
- ارائه‌ی چندین الگوریتم ابتکاری برای حل مسأله
- حل مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار بهینه‌سازی و الگوریتم‌های ارائه شده و مقایسه‌ی آنها

۱-۵- مراحل انجام تحقیق

مطالعه و بررسی منابع و مراجع مربوط به زمان‌بندی دو عاملی و چند عاملی، اولین مرحله از انجام تحقیق حاضر بوده است. همچنین برخی از تحقیقات مهم در زمینه‌ی زمان‌بندی تک ماشین با یک عامل و با تابع هدف تحویل بهنگام مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتیجه‌ی این مرحله که در فصل دوم ارائه شده است، آشنایی با مفاهیم، دسته‌بندی تحقیقات و نیز آشنایی با نحوه‌ی مدل‌سازی این مسایل بوده است.

در مرحله‌ی بعد، با دو رویکرد مختلف به مدل‌سازی مسأله پرداخته شده و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مختلط آن استخراج شده است. سپس، قواعد لازم بهینگی برای جواب‌های مسأله ارائه شده‌اند. با استفاده از قواعد معرفی شده، دو الگوریتم بهبود حریصانه و شش الگوریتم جست‌وجوی محلی برای حل تقریبی مسأله و دستیابی به جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه ارائه شده است. فصل سوم شامل این نتایج است.

در فصل چهارم کارآیی و برتری نسبی الگوریتم‌های معرفی شده و نرم‌افزار موجود برای حل مسایل بهینه‌سازی با همدیگر مقایسه شده است. به این منظور، چندین مثال تصادفی در شرایط مختلف تولید و توسط تمام روش‌ها حل شده‌اند. سپس، با معیار مشترکی دقت آنها بررسی شده است.

در پایان، در فصل پنجم به جمع‌بندی موضوعات تشریح شده در فصول قبل پرداخته شده است. همچنین، بر اساس مشاهدات و یافته‌های مختلف در حین انجام این تحقیق پیشنهاداتی مفید برای تحقیقات آینده ارائه شده است.

فصل دوم (مروری بر ادبیات موضوع)