تحلیل مسأله زمان‌بندی سیستم جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر و ارائه الگوریتم‌های حل آن

فرزانه رجایی ابیانه

استاد راهنما: دکتر سعیده غلامی

پایان نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع

مهر ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به پدر و مادر مهربان و دلسوزم که مرا در تمام مراحل زندگیم یاری نموده اند.

اظهارنامه دانشجو

اینجانب **فرزانه رجایی ابیانه** دانشجوی کارشناسی‌ارشد **رشته مهندسی صنایع**گرایش **صنایع**دانشکده صنایع دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان**تحلیل مسأله زمان بندی سیستم جریان کارگاهی انعطاف پذیر و ارائه الگوریتم های حل آن** با راهنمایی استاد محترم **سرکار خانم دکتر سعیده غلامی**، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

بر خود لازم می‌دانم از استاد گرانقدر، سرکار خانم دکتر سعیده غلامی به خاطر راهنمایی‌هایشان در به ثمر رسیدن این پروژه تحقیقاتی تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

محیط جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر شامل مجموعه ای از مراحل تولیدی یا ایستگاه است که در هریک از این مراحل تعدادی ماشین به صورت موازی قرار دارند. در برخی از مراحل ممکن است یک ماشین قرار داشته باشد ولی طبق تعریف در حداقل یکی از مراحل باید چند ماشین به صورت موازی وجود داشته باشد. هر کار در هر مرحله تنها با استفاده از یک ماشین پردازش می‌شود. این ماشین‌ها می‌توانند به صورت یکسان، غیرمرتبط و یکنواخت باشند. در این تحقیق مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با ماشین‌های موازی غیرمرتبط و زمان راه‌اندازی وابسته به توالی با هدف حداقل کردن دیرکرد و زودکرد مطرح شده و برای حل آن یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. با توجه به این که این مسأله از دسته مسائل NP-Hard است، امکان به دست آوردن جواب بهینه فقط برای مسائل کوچک امکان‌پذیر است. به همین دلیل از الگوریتم‌های فراابتکاری از جمله الگوریتم‌های مبتنی برالگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید، بهینه‌سازی انبوه ذرات و الگوریتم ممتیک به منظور به دست آوردن جواب نزدیک به بهینه استفاده شده است. لازم به ذکر است به منظور به دست آوردن برنامه زمان‌بندی کامل یک الگوریتم ابتکاری به کار رفته است. برای تنظیم پارامتر این الگوریتم‌ها از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی استفاده شده است. در انتها ۴۱ آزمایش در ابعاد مختلف برای بررسی و مقایسه عملکرد این روش‌ها ارائه شده است که برای اطمینان از صحت نتایج، هر آزمایش ۱۰ بار تکرار شده است. به این ترتیب ۴۱۰ آزمایش جهت مقایسه نتایج اجرا شده است. تحلیل نتایج آزمایش‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که به طور کلی با این وجود که الگوریتم مبتنی بر بهینه‌سازی انبوه ذرات از نظر زمان حل از سایر الگوریتم‌ها بهتر عمل می‌کند، الگوریتم‌های ممتیک و الگوریتم مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید از نظر کیفیت جواب نسبت به الگوریتم مبتنی بر بهینه‌سازی انبوه ذرات نتیجه بهتری می‌دهند.

کلمات کلیدی: زمان‌بندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر، الگوریتم ممتیک، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، زودکرد، دیرکرد.

فهرست مطالب

فصل۱: کلیات پژوهش..... ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ کاربردها و اهمیت موضوع ۴

۱-۳ تعریف و بیان هدف مسأله ۵

۱-۴ روش پژوهش ۶

۱-۵ ساختار پژوهش ۷

۱-۶ جمع‌بندی ۷

فصل دوم: مرور ادبیات..... ۸

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ دسته بندی مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر ۹

۲-۳ مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با ماشین های موازی یکسان ۱۰

۲-۴ مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی انعطاف پذیر با در نظر گرفتن زمان راه اندازی وابسته به توالی. ۱۴

۲-۵ مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با ماشین های موازی یکنواخت..... ۱۸

۲-۶ مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی انعطاف پذیربا ماشین های موازی غیرمرتبط..... ۱۹

۲-۶ مسأله زمان‌بندی جریان کارگاهی انعطاف پذیر با تابع هدف مجموع زودکرد و دیرکرد..... ۲۳

۲-۸ جمع بندی ۲۸

فصل سوم: ارائه مدلی برای مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیربا در نظر گرفتن زمانهای راه‌اندازی وابسته به توالی ۳۰

۳-۱ مقدمه ۳۱

۳-۲ تعریف مسأله ۳۱

۳-۳ مفروضات مسأله ۳۲

۳-۴ ارائه مدل ریاضی پیشنهادی ۳۳

۳-۵ جمع بندی ۳۶

فصل چهارم: ارائه الگوریتمهای پیشنهادی ۳۷

۴-۱ مقدمه ۳۸

۴-۲ الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید ۴۰

۴-۲-۱ مقدمه‌ای بر الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۴۰

۴-۳-۲ نحوه نمایش جواب اولیه ۴۱

۴-۲-۳ استراتژی تولید جمعیت اولیه ۴۱

۴-۲-۳-۱ روش NEH ۴۲

۴-۲-۳-۲ روش پیشنهادی مبتنی یر قاعده EDD ۴۲

۴-۲-۴ محاسبه تابع برازندگی ۴۳

۴-۲-۵ جستجوی همسایگی ۴۸

۴-۲-۶ تعیین مقدار دمای اولیه ۴۹

۴-۲-۷ مکانیزم کاهش دما ۴۷
۴-۲-۸ جستجوی‌های محلی به کار رفته در الگوریتم پیشنهادی ۵۰
۴-۳ الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات ۵۲
۴-۳-۱ مقدمه‌ای بر الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات ۵۲
۴-۳-۲ نحوه نمایش جواب ۵۳
۴-۳-۳ استراتژی تولید جمعیت اولیه ۵۴
۴-۳-۴ محاسبه تابع برازندگی ۵۵
۴-۴-۵ نحوه جستجوی الگوریتم پیشنهادی ۵۵
۴-۴-۶ عملگرهای جهش و تقاطع ۵۶
۴-۳-۷ جستجوهای محلی به کار رفته در الگوریتم پیشنهادی ۵۷
۴-۴ الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۵۸
۴-۴-۱ مقدمه‌ای بر الگوریتم ممتیک ۵۸
۴-۴-۲ طراحی ساختار کروموزوم و نحوه نمایش جواب مسأله ۵۹
۴-۴-۳ استراتژی تولید جمعیت اولیه ۶۰
۴-۴-۴ عملگرهای جهش و تقاطع ۶۰
۴-۴-۵ نحوه محاسبه تابع برازندگی ۶۲
۴-۴-۶ جستجوهای محلی به کار رفته در الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۶۲
۴-۵ جمع بندی ۶۴
فصل پنجم: تنظیم پارامتر با استفاده از طراحی آزمایش تاگوچی ۶۵

۵-۱ مقدمه ۶۶
۵-۲ روش تاگوچی در طراحی آزمایش‌ها ۶۷
۵-۳ تنظیم پارامتر با استفاده از روش تاگوچی ۶۹
۵-۳-۱ الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید ۶۹
۵-۳-۲ الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۷۴
۵-۳-۳ الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر بهینه‌سازی انبوه ذرات ۷۹
۵-۴ جمع‌بندی ۸۵
فصل ششم: اجرای آزمایش‌ها و نتایج محاسباتی ۸۶
۶-۱ مقدمه ۸۶
۶-۲ تولید مسائل نمونه جهت اعتبارسنجی و ارزیابی ۸۷
۶-۳ نتایج محاسباتی ۸۹
۶-۴ جمع‌بندی ۹۹
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی ۱۰۱
۷-۱ نتیجه‌گیری ۱۰۲
۷-۲ پیشنهادات جهت تحقیقات آتی ۱۰۳
فهرست مراجع ۱۰۴

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱ خلاصه‌ای از مرور ادبیات ۲۵

جدول ۴-۱ زمان‌های پردازش مربوط به مثال بخش ۴-۲-۴ ..... ۴۶

جدول ۴-۲زمان‌های تکمیل کارها روی هر ماشین در مرحله اول ۴۷

جدول ۴-۳ زمان‌های شروع و تکمیل کارها در مرحله آخر ۴۷

جدول ۴-۴ نمونه‌ای از نحوه نمایش جواب در الگوریتم مبتنی بر بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۴

جدول ۴-۵ جهش احیاء ۵۷

جدول ۵-۱ روابط مربوط به محاسبه نسبت سیگنال به نویز (S/N) ۶۸

جدول ۵-۲ پارامترهای الگوریتم مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی و سطوح متناظر با آن‌ها ۷۰

جدول ۵-۳ آرایه متعامد مربوط به الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید ۷۱

جدول ۵-۴ پارامترهای الگوریتم ممتیک و سطوح متناظر آن‌ها ۷۵

جدول ۵-۵ آرایه متعامد مربوط به الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۷۶

جدول ۵-۶ پارامترهای الگوریتم مبتنی بر بهینه‌سازی انبوه ذرات و سطوح متناظر آن‌ها ۸۰

جدول ۵-۷ آرایه متعامد مربوط به الگوریتم مبتنی بر بهینه سازی انبوه ذرات ۸۱

جدول ۶-۱ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها برای مسائل کوچک ۹۰

جدول ۶-۲ نتایج اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای مسائل متوسط و بزرگ ۹۳

جدول ۶-۳ متوسط زمان‌های اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی ۹۸

فهرست شکل‌ها

شکل۲- ۱دسته‌بندی مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر ۱۰

شکل۳-۱ نمای شماتیک مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر ۳۲

شکل۴-۱نحوه جستجوی فضای جواب در الگوریتم های فراابتکاری ۳۹

شکل۴-۲ شبه کد الگوریتم مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید ۵۱

شکل۴-۳ جستجوی فضای جواب در الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۵۲

شکل۴-۴ شبه کد الگوریتم مبتنی بر بهینه سازی انبوه ذرات ۵۸

شکل۴-۵ عملگر تقاطع تک نقطه‌ای اصلاح شده ۶۱

شکل۴-۶ شبه کد الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۶۳

شکل۵-۱نتایج مربوط به نسبت S/N در الگوریتم مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی ۷۲

شکل۵-۲ نمودار میانگین نسبت S/N در الگوریتم مبتنی بر شبیه سازی تبرید پیشنهادی ۷۳

شکل۵-۳ نمودار مربوط به میانگین متغیر پاسخ در الگوریتم مبتنی بر شبیه سازی تبرید پیشنهادی.... ۷۳

شکل۵-۴ نتایج مربوط به نسبت S/N در الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۷۷

شکل۵-۵ نمودار میانگین نسبت S/N در الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۷۷

شکل۵-۶ نمودار مربوط به میانگین متغیر پاسخ در الگوریتم ممتیک پیشنهادی ۷۸

شکل۵-۷ نتایج مربوط به نسبت S/N در الگوریتم مبتنی بر بهینه سازی انبوه ذرات ۸۲

شکل۵-۸ نمودار میانگین نسبت S/N در الگوریتم مبتنی بر بهینه سازی انبوه ذرات ۸۳

شکل۵-۹ نمودار مربوط به میانگین متغیر پاسخ در الگوریتم مبتنی بر بهینه سازی انبوه ذرات ۸۳

شکل۶-۱ همگرایی الگوریتم‌های مبتنی بر بهینه‌سازی انبوه ذرات ۹۲

شکل۶-۲ همگرایی الگوریتم‌های مبتنی بر شبیه سازی تبرید ۹۲

شکل۶-۳ همگرایی الگوریتم ممتیک ۹۳

شکل۶-۴ نتایج اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس میانگین متغیرهای پاسخ ۹۵

شکل۶-۵ نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس بهترین جواب ۹۵

شکل۶-۶ نمودار میانگین متغیرهای پاسخ ۹۶

شکل۶-۷ نتایج آنالیز واریانس یکطرفه ۹۶

شکل۶-۸ نتایج آزمون توکی ۹۷

فهرست علائم و اختصارات

FIFO: First In First Out: اولویت خروج با کاری که اول وارد شده

JIT : Just In Time :سیستم تولید به هنگام

LPT: Longest Processing Time First: کار با بیشترین زمان پردازش در اولویت

SPT: Shortest Processing Time First:کار با کمترین زمان پردازش در اولویت

VNS: Variable Neighbourhood Search:جستجوی همسایگی متغیر

فصل اول:

کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

مسأله زمان‌بندی و توالی عملیات یکی از مسائل کلاسیک تحقیق در عملیات است. اولین روش سیستماتیک درمسأله زمان‌بندی دردهه ۱۹۵۰ مطرح شد. از آن به بعد مسأله زمان‌بندی با محدودیت‌ها و توابع هدف مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. در مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر چند کار باید در چند ایستگاه پردازش شود و حداقل یکی از ایستگاه‌ها باید بیش از دو ماشین داشته باشد. ماشین‌ها در هر ایستگاه می‌توانند یکسان، یکنواخت ویا غیرمرتبط باشند. در بیشتر تحقیقات در زمینه مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر، ماشین ها در هر ایستگاه به صورت یکسان در نظر گرفته شده‌اند. در مسائل دنیای واقعی، ماشین‌های جدید را به دلیل هزینه سنگین جایگزینی، به صورت موازی با ماشین‌های قدیمی و فرسوده قرار می‌دهند تا ظرفیت تولید را افزایش دهند مخصوصا در ایستگاه‌هایی که گلوگاه هستند. بنابراین پرداختن به مسأله جریان کارگاهی با ماشین‌های موازی غیرمرتبط در هر مرحله بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر آن بسیاری از تحقیقات، زمان راه‌اندازی را جزیی از زمان پردازش در نظر گرفته‌اند یا از آن صرفه‌نظر کرده‌اند در حالیکه در بسیاری از مسائل نادیده گرفتن زمان‌های راه‌اندازی وابسته به توالی بر کیفیت جواب تاثیر می‌گذارد. مسائل زمان‌بندی با در نظر گرفتن زمان‌های راه‌اندازی از اواسط دهه ۱۹۶۰ مورد توجه قرار گرفت. زمان راه‌اندازی می‌تواند وابسته به توالی یا مستقل از آن باشد. این نوع

مسائل در صنایع نساجی و الکترونیکی، تولید نیمه رساناها، تولید کاشی و سرامیک و در صنایع رنگ کاربرد فراوان دارد.

برای نمایش مسائل زمان‌بندی معمولا از نماد $\alpha|\beta|\gamma$ که توسط گراهام ارائه شده است استفاده می‌شود. α محیط مسأله زمان‌بندی را نشان می دهد که می تواند تک‌ماشینه، ماشین‌های موازی، جریان کارگاهی یا تولید کارگاهی باشد. β نمایانگر محدودیت‌ها و مفروضات مسأله است که رایج‌ترین آن ها به شرح زیر است:

۱. r_j زمانی است که کار j نمی تواند زودتر از آن آغاز شود.

۲. prmu نشان‌دهنده این است که توالی کارها در تمام ایستگاه ها یکسان است.

۳. Prec نشان دهنده این است که بین کارها تقدم و تاخر وجود دارد.

۴. M_j نشان دهنده این است که کارj تنها می تواند روی بعضی از ماشین ها پردازش شود.

۵. S_{sd} نشان دهنده این است که زمان راه اندازی وابسته به توالی وجود دارد.

۶. Block نشان دهنده این است که ظرفیت انبارهای میانی محدود است.

۷. Recrc به این معنا است که هر کار در هر ایستگاه می تواند بیش از یک بار پردازش شود.

۸. Unavail نشان دهنده این است که ماشین ها در تمام زمان ها در دسترس نیستند.

۹. no-wait به این معنا است که کارها نمی‌توانند بین ایستگاه‌ها توقف کنند.

۱۰. $p_j = p$ نشان‌دهنده این است که زمان پردازش تمام کارها یکسان و برابر p است.

وγ نشان دهنده تابع هدف مسأله است.

مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر، ترکیبی از دو نوع مسأله زمان‌بندی ماشین‌های موازی و جریان کارگاهی است. تصمیم اصلی در مسأله ماشین‌های موازی، تخصیص کارها به ماشین ها و در مسأله جریان کارگاهی، تعیین توالی کارها بر روی هر ماشین است. از این رو هدف اصلی در مسأله جریان کارگاهی

انعطاف‌پذیر، تعیین توالی و تخصیص کارها به ماشین‌ها است. تعیین ترتیب کارها بر روی ماشین‌های مختلف در هر مرحله بر اساس معیار یا معیارهای در نظر گرفته شده می باشد. این تصمیم تاثیر زیادی بر روی عملکرد سیستم جریان کارگاهی انعطاف پذیر دارد.

۱-۲ کاربردها و اهمیت موضوع

مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با زمان‌های راه‌اندازی وابسته به توالی در دنیای واقعی بسیار پرکاربرد است و در سال‌های اخیر مورد توجه قرارگرفته است؛ از جمله در صنایع نساجی مانند پوشاک، صنایع بافندگی و در صنایع دیگر مانند صنایع سرامیک، تولید موتور هواپیما، صنایع الکترونیکی و نیمه رساناها و صنایع شیمیایی کاربرد زیادی دارد. برای نمونه یواریما و دیگران (۲۰۰۹) مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر را که در تولید تخته مدار تلویزیون کاربرد دارد مورد بررسی قرار دادند.

در مسائل دنیای واقعی، ماشین‌های جدید را به دلیل هزینه سنگین جایگزینی، به صورت موازی با ماشین‌های قدیمی و فرسوده قرار می دهند تا ظرفیت تولید را افزایش دهند به خصوص در مراحل تولیدی که گلوگاه هستند؛ بنابراین پرداختن به این مسأله بسیار حائز اهمیت است.

سیستم JIT[1] (سیستم تولید به هنگام) سیستمی جامع برای کنترل تولید موجودی‌های تولید است. در این سیستم هیچ موجودی مواد اولیه خریداری نمی‌شود و هیچ محصولی ساخته نمی‌شود مگر هنگامی که ضرورت ایجاب کند. در سال‌های اخیر مدیران واحدهای صنعتی پی برده‌اند که نگهداری موجودی‌های ایمنی هزینه قابل توجهی را در بردارد. زیرا نگهداری موجودی‌ها موجب مصرف منابع ارزشمند می شود و هزینه‌های مخفی را ایجاد می‌کند. بنابراین، بسیاری از واحدهای تولیدی در کشورهای صنعتی، نحوه تولید و مدیریت موجودی‌های خود را تغییر داده و استراتژی جدیدی را برای کنترل جریان و فرآیند

[1] Just In Time

تولید، به مورد اجرا گذاشته‌اند که مدیریت به موقع موجودی‌ها نامیده می‌شود. در این استراتژی، مواد خام و قطعات هنگامی خریداری یا ساخته می‌شود که در مراحل مختلف فرآیند تولید موردنیاز باشد. این نحوه تولید و مدیریت موجودی‌ها، به دلیل کاهش سطح موجودی‌ها، موجب صرفه‌جویی‌های قابل توجهی در هزینه‌ها شده است. به همین ترتیب،کالاهای نیمه ساخته مورد نیاز در هر یک از مراحل تولید قبل از اینکه در مرحله بعدی لازم باشد، تولید نمی‌شود. کالاهای ساخته شده نیز هنگامی تولید می‌شود که برای تامین سفارش مشتریان ضرورت داشته باشد. از آنجایی که مسئله مطرح شده در این تحقیق جهت کمینه‌سازی و کاهش مقدار زودکرد و دیرکرد کوشش می‌کند، نتایج می‌توانند برای سیستم‌های تولیدی متفاوتی همچون سیستم‌هایJIT مفید واقع شوند. به طور کلی تابع هدف مجموع زودکرد و دیرکرد، از طرفی هزینه‌های نگهداری و از طرفی دیگر هم هزینه‌های ناشی از عدم تحویل به موقع محصول به مشتری را کاهش می‌دهد.

۱-۳ تعریف و بیان هدف مسأله

در این پژوهش به بررسی یک مسأله خاص از مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با زمان‌های راه‌اندازی وابسته به توالی، ماشین‌های غیرمرتبط و تابع هدف مجموع زودکرد و دیرکرد پرداخته شده است. ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده است که تنها برای مسائل کوچک جواب بهینه می‌دهد و برای مسائل بزرگ از الگوریتم های فراابتکاری استفاده شده است که جواب نزدیک بهینه می‌دهد.

به طور کلی اهداف اصلی این تحقیق به شرح ذیل است:

- توسعه مسأله جریان کارگاهی و سازگار نمودن هر چه بیشتر آن با مسائل دنیای واقعی با در نظر گرفتن زمان های راه اندازی وابسته به توالی، ماشین های موازی غیرمرتبط در هر مرحله
- ارائه الگوریتم ابتکاری برای ایجاد زمان بندی کامل برای یک توالی اولیه از کارها
- توسعه الگوریتم ممتیک
- توسعه الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات
- توسعه الگوریتم شبیه سازی تبرید
- استفاده از روش طراحی آزمایشات تاگوچی برای تنظیم پارامترهای الگوریتم های پیشنهادی
- بررسی و مقایسه عملکرد الگوریتم های پیشنهادی

۱-۴ روش پژوهش

در این پژوهش ابتدا منابع موجود در زمینه مسائل زمان‌بندی در محیط جریان کارگاهی انعطاف پذیر و با در نظر گرفتن فرضیات مسئله مورد نظر، مورد بررسی قرار می گیرد. سپس مدل عدد صحیح مختلط به منظور حل آن ارائه شده است. با توجه به پیچیدگی حل این مسئله، ۳ روش فراابتکاری مختلف مبتنی بر الگوریتم های شبیه‌سازی تبرید، بهینه سازی انبوه ذرات و ممتیک به منظور به دست آوردن جواب نزدیک بهینه ارائه شده است. لازم به ذکر است که به منظور تنظیم پارامترها از طراحی آزمایش‌های تاگوچی استفاده شده است. در انتها نیز با توجه به مسائل مشابه موجود در ادبیات موضوع، مسائلی جهت مقایسه الگوریتم ها تولید شده و الگوریتم ها مورد مقایسه قرار داده‌اند.