بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم تهران)

دانشکده فنی مهندسی

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی صنایع–گرایش صنایع

عنوان

حل مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با محدودیت زمان انتظار

استاد راهنما

دکتر محمد محمدی

استاد مشاور

دکتر رضا توکلی‌مقدم

دانشجو

سیده فاطمه عطار

تیرماه ۱۳۹۱

شکر و سپاس خدا را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست

سپاسگذاری و

تقدیم به پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که سجده ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارش لحظه

های مهربانی را به من آموخت.

چنین فضل از سوی یکتا خداست که دانایی بس همه خلق راست

همتم بدرقه ی راه کن ای طایر قدس که دراز است ره مقصد و من نو سفرم

بر خود لازم می دانم

از استاد صبور و با تقوا، جناب آقای دکتر محمدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمک و دلگرمی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند و از استاد با کمالات و شایسته، جناب آقای دکتر توکلی مقدم به پاس یاری و راهنمایی های ارزنده، که زحمت مشاوره این رساله را تقبل کردند و بدون مساعدت ایشان، این پایان نامه به نتیجه مطلوب نمی رسید، سپاسگزاری می نمایم.

از استاد فرهیخته و بزرگوار، جناب آقای دکتر فاطمی قمی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند و نکات تکمیلی در جهت بهبود این پژوهش ایراد کردند نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

با توجه به اهمیت زمانبندی در اغلب کارخانجات تولیدی و شرکت‌های خدماتی به دلایلی مانند محدود بودن منابع دردسترس، افزایش تنوع درتقاضای مشتریان، زمانبندی منابع منجر به افزایش کارایی و بهره‌برداری از ظرفیت موجود و نهایتاً افزایش سوددهی سازمان در محیط به‌شدت رقابتی امروز می‌انجامد. بنابراین در سال‌های اخیر توجه محققین به تحقیق و مطالعه در حوزه‌ی مسائل زمانبندی افزایش چشمگیری یافته است. در همین راستا، در این پایان‌نامه به بررسی و توسعه‌ی مسأله‌ی زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با محدودیت زمان انتظار پرداخته می‌شود. این مسأله در بسیاری از محیط‌های صنعتی کاربرد و اهمیت به‌سزائی دارد.

ابتدا این مسأله را با معیار عملکرد کمینه کردن حداکثر زمان تکمیل کارها و محدودیت زمان دردسترس بودن کارها، وجود ماشین‌های موازی مشابه در حداقل یک مرحله و زمان‌های راه‌اندازی وابسته به توالی توسعه داده و در قالب یک مدل ریاضی ارائه می‌گردد. مدل پیشنهاد شده از دسته مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی به‌شمار می‌رود و به دلیل ماهیت پیچیده‌ی آن در زمره مسائل NP-hard قرار می‌گیرد و حل این مسأله و رسیدن به جواب بهینه مستلزم صرف زمان بسیار زیادی می‌باشد و چه بسا در بسیاری از موارد غیرممکن است. بنابراین برای حل این مسأله، رویکردهای فراابتکاری الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA) و رقابت استعماری (ICA) بکار برده می‌شوند. سپس همین مسأله را با محدودیت زمان در دسترس بودن کارها در شروع افق برنامه‌ریزی، وجود ماشین‌های موازی غیرمرتبط در حداقل یک مرحله و احتمال پرش از مراحل توسعه داده می‌شود. سپس سه رویکرد فراابتکاری شامل الگوریتم جستجوگر شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر جمعیت (PBSA)، الگوریتم رقابت استعماری (ICA) و الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای حیاتی (BBO) برای یافتن جواب بهینه یا نزدیک به بهینه در این مسأله بکار می‌روند. سپس با ایجاد مسائل نمونه و حل آنها توسط رویکردهای پیشنهادی پس از تنظیم پارامتر، با مقایسه‌ی نتایج حاصل از آنها، عملکرد الگوریتم‌ها تحلیل و ارزیابی می‌شوند.

همچنین در این پژوهش از آنجایی که در دنیای پیشرفته‌ی امروز تصمیم‌گیرنده تمایل دارد تا تصمیمات خود را بر اساس چندین معیار اتخاذ نماید، مدل ریاضی چندهدفه‌ای برای مسأله‌ی زمانبندی جریان کارگاهی مختلط با اهداف کمینه کردن حداکثر زمان تکمیل کارها و مجموع وزنی تأخیر کارها از موعد تحویل بعلاوه‌ی محدودیت‌های زمان انتظار، موعد تحویل کارها، وجود ماشین‌های موازی غیر مرتبط، زمان‌های راه‌اندازی وابسته به ماشین و توالی و احتمال پرش کارها از مرحل نیز ارائه و بررسی می‌گردد. سپس الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه‌سازی چندهدفه انبوه ذرات (MOPSO) و رویکرد تکاملی پارتو قدرتمند (SPEA-II) جهت حل مسأله بکار می‌روند. به‌دلیل حساسیت مقادیر پارامترها، ابزار آماری قدرتمندی بنام روش سطح پاسخ پارامترهای هر دو الگوریتم را در ابعاد کوچک و بزرگ مسأله تنظیم می‌کند. سپس برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ارائه شده، مجموعه‌ای از مسائل نمونه ایجاد و توسط الگوریتم‌ها حل می‌شوند. نتایج محاسباتی نشان می‌دهند که الگوریتم MOPSO کارایی بیشتری برای یافتن جواب‌های پارتو با کیفیت بالا دارد.

کلمات کلیدی: *مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر، زمان انتظار، الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای حیاتی، رویه‌ی سطح پاسخ، بهینه‌سازی چندهدفه*

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل ۱: کلیات تحقیق ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهمیت مسائل زمانبندی ۲

۱-۳- بیان مسأله ۳

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق ۴

۱-۵- اهداف تحقیق ۵

۱-۶- سؤالات تحقیق ۶

۱-۷- فرضیه‌های تحقیق ۶

۱-۸- ساختار پایان‌نامه ۶

۱-۹- جمع‌بندی ۷

فصل ۲: مبانی نظری ومرورادبیات وپیشینه تحقیق ۸

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- معرفی انواع مسائل زمانبندی ۹

۲-۳- نمادگذاری مسائل زمانبندی ۱۲

۲-۳-۱- طبقه‌بندی مسائل زمانبندی ۱۳

۲-۴- پیشینه تحقیق مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیرتک‌هدفه ۱۷

۲-۴-۱- مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر (مختلط) ۱۷

۲-۴-۲- مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیربدون وقفه ۱۹

۲-۴-۳- مسائل جریان کارگاهی مختلط با محدودیت زمان انتظار ۲۰

۲-۵- مسائل بهینه‌سازی چندهدفه وروش‌های حل آن ۲۱

۲-۵-۱- روش‌های اسکالر ۲۱

۲-۵-۲- روش‌های عکس‌العملی ۲۲

۲-۵-۳- روش‌های مبتنی بر منطق فازی ۲۲

۲-۵-۴- روش‌های فراابتکاری ۲۳

۲-۶- پیشینه تحقیق مسائل جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر چندهدفه ۲۳

۲-۶-۱- مسائل جریان کارگاهی ۲۴

۲-۶-۲- مسائل جریان کارگاهی بی‌وقفه ۲۵

۲-۶-۳- مسائل جریان کارگاهی با محدودیت زمان انتظار ۲۶

۲-۷- جمع‌بندی ۲۶

فصل ۳: مدل‌های توسعه داده شده تک‌هدفه و الگوریتم‌های حل پیشنهادی ۲۷

۳-۱- مقدمه ۲۸

۳-۲- الگوریتم‌های فراابتکاری تک‌هدفه ۲۸

۳-۲-۱- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA) ۲۸

۳-۲-۲- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر جمعیت (PBSA) ۳۳

۳-۲-۳- الگوریتم رقابت استعماری (ICA) ۳۳

۳-۲-۴- الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای حیاتی (BBO) ۴۰

۳-۳- مدل‌تک‌هدفه اول:حل مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با درنظرگرفتن زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی ومحدودیت زمان انتظار ۴۶

۳-۳-۱- تعریف مسأله ۴۶

۳-۳-۱-۱- مفروضات ۴۷

۳-۳-۱-۲- پارامترها ۴۷

۳-۳-۱-۳- برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط ۴۸

۳-۳-۲- رویه‌ی حل وآزمایشات عددی ۵۰

۳-۳-۲-۱- رویه‌ی بدست آوردن جواب و ارزیابی تابع هدف ۵۰

۳-۳-۲-۲- ایجاد مسائل نمونه ۵۲

۳-۳-۲-۳- طراحی آزمایشات و رویکردتنظیم پارامتر تاگوچی ۵۲

۳-۳-۲-۴- نتایج محاسباتی ۵۵

۳-۴- مدل‌تک‌هدفه دوم : حل مسأله زمانبندی جریان کارگاهی مختلط با درنظر گرفتن ماشین‌های موازی غیرمرتبط ومحدودیت زمان انتظار ۵۷

۳-۴-۱- تعریف مسأله ۵۷

۳-۴-۲- رویه‌ی حل وآزمایشات عددی ۵۸

۳-۴-۲-۱- ایجاد مسائل نمونه ۵۸

۳-۴-۲-۲- روش سطح پاسخ و تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها ۵۹

۳-۴-۲-۳- مثال عددی ۶۲

۳-۴-۲-۳-۱- تعریف مسأله‌ی نمونه و داده‌های ورودی ۶۲

۳-۴-۲-۳-۲- حل مسأله و خروجی‌های آن ۶۳

۳-۴-۲-۴- نتایج ارزیابی الگوریتم‌ها ۶۴

۳-۵- جمع‌بندی ۶۶

فصل ۴: مدل توسعه داده شده‌ی چندهدفه و الگوریتم‌های حل پیشنهادی ٦٧

۴-۱- مقدمه ۶۸

۴-۲- تعریف مسأله ۶۸
۴-۲-۱- مفروضات ۶۸
۴-۲-۲- پارامترها ۶۹
۴-۲-۳- برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی و مختلط ۷۰
۴-۳- رویه‌ی حل پیشنهادی ۷۲
۴-۳-۱- تفاوت‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه و چندهدفه ۷۲
۴-۳-۲- تفاوت میان مجموعه نامغلوب و بهینه پارتو ۷۳
۴-۳-۳- چگونگی ایجاد جواب وارزیابی توابع هدف ۷۳
۴-۴- الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه ۷۵
۴-۴-۱- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۷۵
۴-۴-۱-۱- نیروی اینرسی ۷۶
۴-۴-۱-۲- ضرایب انقباض ۷۷
۴-۴-۱-۳- حلقه اصلی روش بهینه‌سازی چندهدفه انبوه ذرات (MOPSO loop) ۷۷
۴-۴-۱-۴- شبه‌کد روش بهینه‌سازی چندهدفه انبوه ذرات ۷۹
۴-۴-۲- الگوریتم تکاملی پارتو قدرتمندII ۸۰
۴-۵- آزمایشات عددی ۸۴
۴-۵-۱- تولید مسائل نمونه ۸۴
۴-۵-۲- معیارهای مقایسه ۸۴
۴-۵-۳- تنظیم پارامتر ۸۶
۴-۵-۴- تحلیل نتایج محاسباتی ۹۳
۴-۶- جمع‌بندی ۹۸

فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی **۹۹**

۵-۱- مقدمه ۱۰۰
۵-۲- خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۰۰
۵-۲-۱- نوآوری‌های تحقیق ۱۰۱
۵-۳- پیشنهاداتی جهت تحقیقات آینده ۱۰۱

منابع و مآخذ **۱۰۳**

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۳-۱) : تصویر عناصر تبرید فیزیکی به عناصرالگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۲۹
جدول (۳-۲) : پارامترهای مسائل نمونه و حدود انتخابی آنها ۵۲
جدول (۳-۳) : عوامل کنترلی ICA و سطوح انتخابی آنها ۵۴
جدول (۳-۴) : $\overline{RPD}$ حاصل از حل مسائل نمونه ازطریق دوالگوریتم فراابتکاری ۵۶
جدول (۳-۵) : پارامترهای مسائل نمونه وسطوح آنها ۵۹
جدول (۳-۶) : سطوح پارامترهای الگوریتم BBO ۵۹
جدول (۳-۷) : مجموعه آزمایشات طراحی شده‌ی فرآیند تنظیم پارامترهای الگوریتم BBO ۶۰
جدول (۳-۸) : نتایج تحلیل واریانس"Sequential Model Sum of Squares " ۶۱
جدول (۳-۹) : مقادیر بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم BBO ۶۱
جدول (۳-۱۰) : مراحل پردازش کارها ۶۲
جدول (۳-۱۱) : مدت زمان پردازش عملیات ۶۲
جدول (۳-۱۲) : حد بالای زمان انتظاربین دو مرحله‌ی متوالی ۶۲
جدول (۳-۱۳) : زمان دردسترس بودن کارها ۶۳
جدول (۳-۱۴) : زمان‌های شروع عملیات (b_{ijk}) ۶۳
جدول (۳-۱۵) : شماره‌ی ماشین‌های تخصیص یافته به هریک از عملیات ۶۳
جدول (۳-۱۶) : مدت زمان انتظار (w) درانبارهای میانی ۶۳
جدول (۳-۱۷) : $\overline{RPD}$ حاصل از حل مسائل نمونه ازطریق سه الگوریتم فراابتکاری ۶۵
جدول (۴-۱) : پارامترهای مسائل نمونه و سطوح انتخابی ۸۴
جدول (۴-۲) : حدود پارامترهای MOPSO در دو سایز کوچک و بزرگ ۸۶
جدول (۴-۳) : آزمایشات طراحی شده و نتایج حاصل از آن در تنظیم پارامترهای MOPSO برای مسأله با ابعاد کوچک ۸۷
جدول (۴-۴) : نتایج نرمال شده‌ی معیارها در سایز کوچک مسأله و SAW ۸۹
جدول (۴-۵) : نتایج تحلیل واریانس "Sequential Model Sum of Squares" تنظیم پارامتر الگوریتم MOPSO در ابعاد کوچک ۸۹
جدول (۴-۶) : مقادیر بهینه‌ی پارامترهای MOPSO درابعاد کوچک مسأله ۹۰
جدول (۴-۷) : نتایج نرمال شده‌ی تنظیم پارامتر MOPSO در مسأله با ابعاد بزرگ وSAW ۹۱

جدول (۴-۸) : نتایج تحلیل واریانس "Sequential Model Sum of Squares" حاصل از تنظیم پارامتر الگوریتم MOPSO در ابعاد بزرگ ۹۲
جدول (۴-۹) : مقادیر بهینه‌ی پارامترها MOPSO درمسأله با ابعاد بزرگ ۹۲
جدول (۴-۱۰) : مقادیر بهینه‌ی پارامترها SPEA-II در مسأله با ابعاد کوچک و بزرگ ۹۲
جدول (۴-۱۱) : نتایج معیارهای محاسبه شده حاصل از جواب‌های نامغلوب حل هر مسأله در ابعاد کوچک توسط الگوریتم‌ها ۹۳
جدول (۴-۱۲) : نتایج معیارهای محاسبه شده حاصل از جواب‌های نامغلوب حل هر مسأله با ابعاد بزرگ توسط الگوریتم‌ها.....۹۴
جدول (۴-۱۳) : تحلیل آماری مربوط به آزمون برابری میانگین پنج معیار الگوریتم‌های MOPSO و SPEA-II در ابعاد کوچک مسأله ۹۵
جدول (۴-۱۴) : تحلیل آماری مربوط به آزمون برابری میانگین پنج معیار الگوریتم‌های MOPSO و SPEA-II در ابعاد بزرگ مسأله ۹۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) : نمایش شماتیک مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر ۴
شکل (۲-۱) : روش‌های فراابتکاری قطعی ۲۳
شکل (۲-۲) : روش‌های فراابتکاری غیرقطعی ۲۳
شکل (۳-۱) : ساختاریک جواب برای یک مسأله باپنج کار ۳۰
شکل (۳-۲) : عملگرهای ایجاد همسایگی در الگوریتم SA ۳۱
شکل (۳-۳) : تولید جمعیت کشورهای اولیه ۳۴
شکل (۳-۴) : نمودار جریانی ساختار الگوریتم رقابت استعماری ۳۵
شکل (۳-۵) : شکل گرفتن امپراطوری‌های اولیه ۳۷
شکل (۳-۶) : حرکت مستعمره به‌سمت استعمارگر در فرآیند همگون‌سازی ۳۷
شکل (۳-۷) : شمای کلی رقابت استعماری ۳۹
شکل (۳-۸) : شمای کلی سقوط امپراطوری ضعیف ۳۹
شکل (۳-۹) : نمایش شماتیک مهاجرت گونه‌ها (سیمون ۲۰۰۸) ۴۰
شکل (۳-۱۰) : نمودار جریانی ساختار کلی الگوریتم BBO ۴۲
شکل (۳-۱۱) : رابطه‌ی خطی نرخ‌های مهاجرت و تعداد گونه‌ها (سیمون ۲۰۰۸) ۴۳
شکل (۳-۱۲) : مقادیر μ و λ برای جواب‌های یک جمعیت با شش عضو ۴۴
شکل (۳-۱۳) : شبه کد رویه‌ی مهاجرت بین جواب‌ها ۴۵
شکل (۳-۱۴) : نمایش شماتیک فرآیند جهش در الگوریتم BBO ۴۵
شکل (۳-۱۵) : شبه-کد بدست آوردن جواب وارزیابی تابع هدف ۵۱
شکل (۳-۱۶) : نمودار میانگین نرخ S/N در هرسطح عوامل کنترلی ۵۵
شکل (۳-۱۷) : نمودار میانگین‌های دامنه اطمینانTukey ۹۵٪ برحسب RPD حاصل از الگوریتم‌ها ۵۶
شکل (۳-۱۸) : اثر متقابل تعداد کارهای مسائل و کیفیت جواب‌های حاصل شده‌ی الگوریتم‌ها ۵۷
شکل (۳-۱۹) : اثرمتقابل تابع توزیع تعداد ماشین‌های هر مرحله وکیفیت جواب‌های الگوریتم‌ها ۵۷
شکل (۳-۲۰): نمودار گانت چارت حل مثال عددی، $C_{max} = 64$ ۶۴
شکل (۳-۲۱) : نمودار میانگین و فاصلهTukey (درسطح اطمینان ۹۵٪) روی انواع الگوریتم‌ها ۶۵
شکل (۳-۲۲) : نمودار تأثیر متقابل نوع الگوریتم و n برحسب $\overline{RPD}$ ۶۶
شکل (۳-۲۳) : نمودار تأثیر متقابل نوع الگوریتم و S برحسب $\overline{RPD}$ ۶۶

شکل (۳-۲۴) : نمودار تأثیر متقابل نوع الگوریتم و m_i برحسب $\overline{RPD}$ ۶۶
شکل (۳-۲۵) : نمودار تأثیر متقابل نوع الگوریتم و P_{skip} مبنی بر $\overline{RPD}$ ۶۶
شکل (۴-۱) : نحوه‌ی ایجاد توالی کارها و تخصیص ماشین‌ها برای یک مسأله‌ی نمونه ۷۴
شکل (۴-۲) : شبه کد نحوه‌ی ارزیابی توابع هدف و ارضاء محدودیت‌ها ۷۴
شکل (۴-۳) : نمایش شماتیک حرکت ذره درPSO ۷۶
شکل (۴-۴) : شبکه‌بندی فضای حل ۷۸
شکل (۴-۵) : نمودار جریانی ساختار کلی الگوریتم SPEA-II ۸۱
شکل (۴-۶) : نمایش شماتیک روش تسطیح آرشیو (زیتزلر ۲۰۰۲) ۸۳
شکل (۴-۷) : ماتریس تصمیم روش SAW ۸۸
شکل (۴-۸) : نمودار جواب‌های نامغلوب حاصل شده توسط الگوریتم‌هایMOPSO و SPEA-II در مسأله‌ای با ابعاد بزرگ ۹۶
شکل (۴-۹) : نمودار زمان اجرای الگوریتم MOPSO و SPEA-II درحل مسائل با ابعادکوچک ۹۷
شکل (۴-۱۰) : نمودار زمان اجرای الگوریتم MOPSO و SPEA-II درحل مسائل با ابعاد بزرگ ۹۷

فصل ۱:

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

زمانبندی[1] و تعیین توالی عملیات[2]، یک تابع تصمیم‌گیری است که نقشی حیاتی و مهم در صنایع تولیدی و خدماتی بازی می‌کند. امروزه در محیط‌های رقابتی، زمانبندی مؤثر فعالیت‌ها، ضرورتی برای بقاء در بازار شده است. کارخانه‌ها باید در موعدهای تحویل، کالا را به مشتری ارسال کنند، همچنین آنها باید فعالیت‌ها را به گونه‌ای برای اجرا برنامه‌ریزی کنند که از منابع محدود به صورت بهینه و کارا بهره گیرند. برنامه‌ریزی و زمانبندی عملیات در صنایع تولیدی به طور جدی در ابتدای همین قرن با کار هنری گانت و دیگر پیشگامان (پیندو[3] ۱۹۹۵) آغاز شد.

زمانبندی، برنامه‌ریزی و الویت‌دهی فعالیت‌ها به‌منظور برآورده ساختن نیازها، محدودیت‌ها و اهداف می‌باشد. در حال حاضر با توسعه صنعتی، محدودیت منابع مسأله‌ای بحرانی شده است. هدف از زمانبندی، تعیین توالی پردازش عملیات، تعیین زمان شروع پردازش عملیات در هر مرحله و تخصیص درست منابع است به‌گونه‌ای که در کمترین زمان ممکن و بیشترین بهره‌گیری از ظرفیت منابع، افزایش سوددهی و اعتبار یک سازمان فراهم شود. فرآیند زمانبندی در تدارکات، تولید، حمل و نقل، توزیع، پردازش اطلاعات و ارتباطات کاربرد دارد. در جهان امروز ماشین‌ها، نیروی انسانی، خطوط هوایی و حتی زمان به‌عنوان منابعی بحرانی، محدود و پر هزینه در سازمان‌های تولیدی و خدماتی شناخته می‌شوند. زمانبندی ابزار مهم برای استفاده‌ی بهینه از منابع دردسترس، سودآوری خط تولید، دستیابی سازمان‌ها به اهداف و آرمان‌ها و حفظ موقعیت رقابتی در محیط‌های تولیدی با تغییرات سریع می‌باشد. از نظر بکر[4] (۱۹۷۴) زمانبندی عبارت است از: " تخصیص منابع تولیدی دردسترس برای اجرای مجموعه‌ای از فعالیت‌ها در مدت زمانی معقول". ازجمله کارهایی که نیاز به زمانبندی دارند می‌توان به مجموعه عملیات در کارگاه تولیدی، پرواز و فرود در فرودگاه، برنامه‌های کامپیوتری در محیط کامپیوتر و مجموعه مراحل عمرانی در یک پروژه ساختمانی اشاره کرد. فرآیند زمانبندی در یک سازمان، از مدل‌ها و روش‌های ریاضی و یا روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای تخصیص منابع محدود به کارهای درحال جریان استفاده می‌کند.

در این فصل ابتدا اهمیت مسائل زمانبندی را بررسی می‌کنیم سپس به‌بیان مسأله اساسی تحقیق، اهمیت و ضرورت انجام آن، اهداف، سؤالات و فرضیه‌های تحقیق خواهیم پرداخت.

۱-۲- اهمیت مسائل زمانبندی

اهمیت زمانبندی درسال‌های اخیر به دلایلی مانند افزایش تنوع در تقاضای مشتریان، کاهش چرخه‌ی عمر محصولات، تغییرپذیری بازارهای رقابتی، رشد سریع و روزافزون فرآیندها و تکنولوژی‌های نوین در محیط‌های ساخت و تولید و افزایش پیچیدگی در محیط‌های تولیدی، افزایش چشمگیری یافته است.

امروزه در اغلب کارخانجات تولیدی و شرکت‌های خدماتی، سرویس‌دهی بالا و تأمین به‌موقع سفارش مشتری یا خدمت‌رسانی به‌موقع حائز اهمیت است. سطح پایین سرویس‌دهی و هزینه‌های زودکرد و دیرکرد نه تنها مشتریان را متضرر می‌سازد بلکه از اعتبار کارخانه یا شرکت مورد نظر نیز می‌کاهد. حداقل کردن زمان تکمیل و جریمه‌های حاصل از دیرکرد سبب حداکثر شدن بهره‌وری و کارایی سیستم تولیدی یا خدماتی می‌شود. همچنین حداقل کردن جریمه‌های زودکرد باعث حداقل شدن هزینه‌هایی از قبیل هزینه موجودی خواهد شد. بنابراین زمانبندی فعالیت‌ها

[1] Scheduling
[2] Sequencing
[3] Pinedo
[4] Baker

به‌منظور حداقل‌کردن هزینه‌ها در شرکت‌های تولیدی و خدماتی با توجه به معیارهای زمان تکمیل، میزان زودکرد و دیرکرد و سایر معیارهای عملکرد، ضروری بنظر می‌رسد.

در این سال‌ها مسائل زمانبندی جریان کارگاهی، مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است، اولین و ساده‌ترین مسأله زمانبندی توسط جانسون[1] در سال ۱۹۵۴ بررسی شد و پس از آن مقالات علمی فروانی شامل صدها مقاله با جنبه‌های گوناگون و مسائل مختلف، منتشر شد. با توجه به افزایش انعطاف‌پذیری و پیچیدگی سیستم‌های تولیدی، همیشه بین تئوری برنامه‌ریزی و واقعیت آن در عمل شکاف زیادی وجود داشته است. بنابراین تلاش برای کم کردن و از بین‌بردن این شکاف با ایجاد مدل‌هایی برای مسائل زمانبندی پیچیده و واقعی آغاز شده است. بسیاری از فرایندهای صنعتی از قبیل صنایع شیمیایی، دارویی، نفت، غذا، دخانیات، کاغذ و فلزات می‌توانند مانند جریان کارگاهی مختلط[2] (HFS) مدل‌بندی شوند. مقالات مرتبط با جریان کارگاهی مختلط در دهه ۷۰ پدیدار شد.

۱-۳- بیان مسأله

در این تحقیق مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر مختلط[3] (HFFS) با محدودیت زمان انتظار[4] (LWT) بین هر دو مرحله‌ی متوالی از عملیات و با درنظر گرفتن برخی از محدودیت‌های دیگر که این مسأله را به یک مسأله واقعی در عمل نزدیک می‌کند، بررسی و حل می‌شود. محدودیت‌هایی از قبیل زمان آماده به کار بودن کارها[5]، زمان آماده‌سازی[6] پردازشگرها برای انجام عملیات، وجود ماشین‌های موازی یکسان[7] یا غیرمرتبط[8] در مراحل پردازش، موعد تحویل[9] کارها و احتمال پرش[10] کارها از مراحل درنظر گرفته می‌شود.

مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر مختلط (HFFS) شامل دو مفهوم از مفاهیم زمانبندی است:

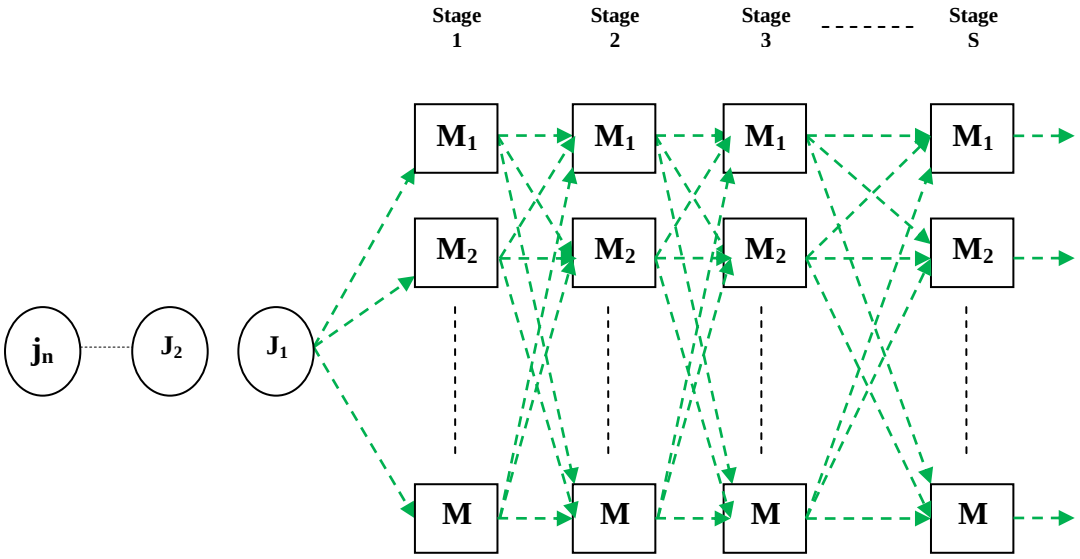
I. مفهوم اول دربردارنده‌ی مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر[11] (FFS) یا همان جریان کارگاهی (FS) با چندین پردازشگر حداقل در یک مرحله می‌باشد. مسأله FS شامل مجموعه‌ای از n کار است که هر کار از مجموعه‌ی s فعالیت تشکیل شده و همه‌ی کارها باید در S مرحله عملیات به صورت متوالی و در یک ترتیب پردازش شوند. مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر مطابق شکل (۱-۱)، عیناً همانند مسأله زمانبندی جریان کارگاهی است به‌طوری‌که در هر مرحله به ترتیب m_1، m_2، ... و m_s ماشین مشابه و موازی وجود دارد و $\{m_i \geq 1\,,\ i \in S\,,\ \exists\, i \mid m_i \geq 2\}$.

II. مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطافپذیر مختلط همانند مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر است با این تفاوت که هر کار می‌تواند از برخی مراحل عبور نکند، درواقع فرآیند پردازش آن کار به‌گونه‌ای است که نیاز به انجام عملیات در بعضی از مراحل را ندارد، هرچند ترتیب عملیات‌های هر کار یا جریان

[1] Johnson
[2] Hybrid Flow Shop
[3] Hybrid Flexible Flow shop
[3] Limited Waiting Time constraint
[5] Ready Time
[6] Setup Time
[7] Identical Parallel Machines
[8] Unrelated Parallel Machines
[9] Due Date
[10] Skipping Probability
[11] Flexible Flow Shop

محصولات در کارخانه یک سویه می‌باشد. امکان پرش از مراحل خاصیتی است که مسأله جریان کارگاهی را انطباق‌پذیرتر و مؤثرتر برای مسائل واقعی در عمل می‌سازد.

لازم به ذکر است که این مسأله را در ادبیات موضوع معمولاً تحت عنوان مسأله‌ی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر یا مسأله‌ی جریان کارگاهی با ماشین‌های موازی و یا مسأله‌ی جریان کارگاهی مختلط نیز شناخته می‌شود.



شکل (۱-۱) : نمایش شماتیک مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

این نوع مسائل HFFS با محدودیت LWT در بسیاری از محیط‌های صنعتی کاربرد و اهمیت به‌سزائی دارد. از جمله کاربردهای آن، صنایع تولیدی موتورهای هواپیما، تولیدات الکترونیکی و نیمه‌رسانا و صنایع پتروشیمی (بهنامیان و زندیه[1]، ۲۰۱۱) می‌باشد. همچنین در فرآیندهای فولادسازی بسیار اهمیت دارد از آنجا که فولاد مذاب جهت پردازش در مرحله‌ی بعدی باید به قدر کافی در انبارهای میانی، داغ باقی بماند، بنابراین مدت زمان انتظار در انبار نباید از حد مجازی فراتر رود. سو[2] (۲۰۰۳) بیان می‌کند که زمان انتظار پس از عملیات پردازش در تونل‌های کوره به‌منظور مانع شدن از جذب ذرات ریز در هوا، محدود است. یکی از مهمترین کاربردهای این محدودیت وقتی است که ظرفیت انبارهای میانی محدود باشد و قطعات نیمه‌ساخته باید جهت پردازش در مرحله‌ی بعدی و جایگزین شدن قطعات نیمه‌ساخته‌ی مرحله‌ی قبلی در یک مدت کوتاهی انبار را ترک کنند. به‌طور کلی برخی از دلایل ممکن برای ایجاد زمان تأخیر مابین دو عملیات متوالی عبارتند از:

- در دسترس نبودن ماشین جهت پردازش آن کار در مرحله‌ی بعد
- الویت داشتن کار دیگری برای پردازش و محدود بودن پردازشگرها
- به دلیل ماهیت عملیات، تأخیر باید وجود داشته باشد

[1] Behnamian and Zandieh
[2] Su

علاوه بر این‌ها، مسأله‌ی زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر مختلط بدون وقفه[۱] (NWHFFS) زیرمجموعه‌ای از مسأله‌ی HFFS با محدودیت زمان انتظار می‌باشد و درصورتی است که هیچ انبار میانی وجود نداشته و یا حداکثر حد مدت زمان وقفه‌ی بین مراحل برابر صفر باشد. مسائل زمانبندی بدون انتظار در آن دسته از محیط‌های تولیدی رخ می‌دهند که در آن یک کار می‌بایست از آغاز تا پایان بر روی یک ماشین یا بدون وقفه روی ماشین‌ها مورد پردازش قرار گیرد. علت وقوع چنین محیط‌هایی نوع فن‌آوری و یا فقدان توانایی ذخیره‌سازی بین ماشین‌ها و ایستگاه‌های کاری است. به‌طور نمونه عامل دما، غلظت و یا دیگر عوامل باعث می‌شوند هر عملیاتی، عملیات پیش از خود را بلافاصله دنبال کند. به عنوان مثال در تولید فولاد، هنگامی که فولاد مذاب در برابر یکسری عملیات متوالی مانند ریخته‌گری، ذوب و نورد قرار می‌گیرد، چنین وضعیتی رخ می‌دهد. همچنین در صنایع غذایی، عملیات قرار دادن محصولات غذایی داخل قوطی‌های کنسرو باید بلافاصله بعد از پخت انجام شود تا از تازه بودن این محصولات اطمینان حاصل گردد. در صنایع دارویی، شیمیایی، پتروشیمی و صنایع خدماتی و... چنین مواردی رخ می‌دهد. محیط‌های تولیدی جدید مانند تولید به‌هنگام[۲]، سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر[۳] و سلول‌های روباتیک، فرآیند تولیدی منطبق با مسائل زمانبندی بدون انتظار را فراهم می‌کنند.

با توجه به کاربردهای عنوان شده برای مسأله جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر مختلط با محدودیت زمان انتظار و تحقیقات بسیار محدود انجام شده که در فصل دوم مروری بر آنها خواهیم داشت، همچنین قابلیت گسترش مسأله با محدودیت‌های عملی و کاربردی در صنعت، اهمیت بررسی این تحقیق کاملاً مشهود است.

۱-۵- اهداف تحقیق

هدف اصلی این پژوهش مدلسازی و حل مسأله‌ای که با شرایط دنیای واقعی سازگار و توسط محققان دیگر کمتر مورد توجه قرار گرفته، می‌باشد. ما ابتدا مسأله زمانبندی جریان کارگاهی انعطاف‌پذیر با محدودیت‌های زمان انتظار، زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی[۴] و وجود ماشین‌های موازی مشابه در مراحل پردازش، بعلاوه‌ی مسأله زمانبندی جریان کارگاهی مختلط با محدودیت‌های زمان انتظار و زمان در دسترس بودن کارها، وجود ماشین‌های موازی غیرمرتبط و احتمال پرش کارها از برخی مراحل به‌منظور کمینه کردن تابع هدف حداکثر زمان تکمیل کارها[۵] را حل خواهیم کرد. از آنجا که در دنیای واقعی، تصمیم‌گیرنده در بسیاری از مواقع نیازمند است تصمیم خود را نه‌تنها بر اساس یک هدف بلکه بر اساس مجموعه‌ای از اهداف موجود اتخاذ نماید. بنابراین مسأله زمانبندی جریان کارگاهی مختلط با محدودیت‌های زمان انتظار، موعد تحویل کارها، وجود ماشین‌های موازی غیرمرتبط در مراحل، زمان‌های آماده‌سازی وابسته به ماشین و توالی[۶] با هدف کمینه کردن توابع حداکثر زمان تکمیل کارها و مجموع وزنی تأخیر کارها بررسی و حل خواهد شد. از طرفی به‌دلیل پیچیدگی حل اینگونه مسائل، به ارائه‌ی الگوریتم‌های فراابتکاری به‌منظور حل تک‌هدفه و چندهدفه‌ی مسائل عنوان شده در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ پرداخته می‌شود.

[3] No-Wait Hybrid Flexible Flow Shop
[4] Just In Time
[3] Flexible Manufacturing Systems
[4] Sequance Dependant Setup Time
[5] Makespan
[6] Machin-Sequance Dependant Setup Time

به‌طور کلی اهدافی که در راستای این پایان‌نامه دنبال می‌کنیم به شرح زیر می‌باشند:

- گسترش مدل مسأله و انطباق هرچه بیشتر آن با مسائل واقعی در جهان عمل و توسعه‌ی چهار رویکرد فراابتکاری کارا شامل الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید[۱] (SA)، شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر جمعیت[۲] (PBSA)، رقابت استعماری[۳] (ICA)، بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای حیاتی[۴] (BBO) به‌منظور بهینه‌سازی مسائل عنوان شده در حالت تک‌هدفه
- تطبیق الگوریتم‌های فراابتکاری تکاملی پارتوی قدرتمند[۵] (SPEA-II) و بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه[۶] (MOPSO) جهت یافتن جواب‌های پارتوی کارا در مسأله توسعه یافته در حالت دو هدفه
- بهبود کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری از طریق تنظیم پارامتر آنها با استفاده از روش سطح پاسخ و یا رویه‌ی تاگوچی
- مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم‌های توسعه داده شده از طریق تجزیه و تحلیل نتایج حاصل شده

۱-۶- سؤالات تحقیق

- هریک از کارهای وارد شده به کارگاه در چه زمانی باید شروع به پردازش شوند؟
- کدام یک از منابع موجود در هریک از مراحل در کارگاه بایستی برای انجام فعالیت‌ها تخصیص داده شوند؟
- هریک از فعالیت‌ها پس از چه میزان تأخیر و در چه زمانی باید شروع به پردازش در مراحل دیگر شوند؟
- توالی انجام فعالیت‌ها در هر یک از مراحل پردازش باید به چه صورت باشد؟
- چگونه می‌توان الگوریتم‌های SA، PBSA، ICA و BBO را برای حل مدل‌های تک‌هدفه بکار برد؟
- چگونه می‌توان الگوریتم‌هایSPEA-II و MOPSO رابرای حل مدل چندهدفه بکار برد؟
- چگونه می‌توان کارایی دو الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی تک‌هدفه را مقایسه کرد؟
- چگونه می‌توان کارایی دو الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی چندهدفه را مقایسه کرد؟

۱-۷- فرضیه‌های تحقیق

۱. با ارائه و توسعه‌ی مدل‌های ریاضی و استفاده از شبیه‌سازی و برنامه‌های کامپیوتری می‌توان حل مسائل زمانبندی را در محیط جریان کارگاهی مورد بررسی قرار داد.

۲. با طراحی الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه می‌توان به حل مسائل زمانبندی چندهدفه در محیط جریان کارگاهی با اندازه متوسط و بزرگ پرداخت.

۱-۸- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل گردآوری شده است. فصل اول به بیان مقدمه، بیان مسأله، ضرورت و اهداف تحقیق می‌پردازد. در فصل دوم ابتدا مفاهیم نظری مسائل زمانبندی بیان شده و سپس با بررسی پیشینه و مطالعات صورت

[1] Simulated Annealing
[2] Population-Based Simulated Annealing
[3] Imperialist Competitive Algorithm
[4] Biogeography-Based Optimization
[5] Strength Pareto Evolutionary Algorithm II
[6] Multi Objective Particle Swarm Optimization

گرفته در این حوزه از مسائل زمانبندی، به‌تعیین خلأهای موجود پرداخته و نشان داده می‌شود که مطالعات محدودی در ارتباط با موضوع عنوان شده ارائه شده است. فصل سوم و چهارم بخش اصلی این تحقیق را ارائه می‌دهند. در فصل سوم مدل‌های تک‌هدفه توسعه یافته و الگوریتم‌های حل پیشنهادی ارائه می‌گردند که پس از تنظیم پارامتر الگوریتم‌ها، نتایج حاصل از آنها تجزیه- تحلیل و مقایسه خواهند شد. در فصل چهارم مسأله را با محدودیت‌های دیگر گسترش داده و جهت بهینه‌سازی همزمان چندین تابع هدف (به‌صورت دو هدفه)، مسأله از طریق رویکردهای فراابتکاری چندهدفه پس از تنظیم پارامتر با استفاده از روش سطح پاسخ و سیاست‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، حل خواهد شد و کارایی الگوریتم‌ها ارزیابی و مقایسه می‌شود. در پایان، فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه خواهد داد.

۱-۹- جمع‌بندی

در این فصل، خلاصه‌ای اجمالی از زمانبندی و اهمیت آن در جهان واقعی ذکر گردید، سپس مسأله‌ی تحقیق، دلایل اصلی انجام آن بیان شد. همچنین اهداف، سؤالات پژوهش و کاربردهای آن در محیط‌های صنعتی و خدماتی عنوان شد و در پایان، ساختار انجام تحقیق مطرح گردید.

فصل ۲:

مبانی نظری و پیشینه تحقیق