

۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

موضوع :

ارائه یک الگوریتم فراابتکاری برای حل مسئله زمانبندی

تولید کارگاهی تمام منعطف

پژوهشگر:

فراز طهرانی زاده

استاد راهنما:

دکتر مهرداد کازرونی



چکیده

زمان‌بندی تولید یکی از مهمترین مسائل مطرح شده در زمینه برنامه‌ریزی در سیستم‌های تولیدی است. زمان‌بندی تاثیر چشمگیری بر روی کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری، رضایتمندی مشتریان و سایر مزایای رقابتی دارد. به‌علاوه امروزه، تنوع زیاد در تقاضای مشتریان باعث ایجاد پیچیدگی فراوان در تولید شده است و این موضوع، اهمیت روز افزون زمان‌بندی را مشخص می‌کند. یک برنامه زمان‌بندی مناسب باعث افزایش استفاده از ظرفیت‌ها و منابع موجود در سیستم تولیدی شده و همین امر منجر به کاهش زمان مورد نیاز برای انجام کارها و در نتیجه افزایش سوددهی سازمان در محیط رقابتی موجود، خواهد شد. مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر تعمیم مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی است که در آن هر عملیات توسط مجموعه‌ای از ماشین‌ها قابل پردازش است و یا به طور معادل هر ماشین توانایی پردازش بیش از یک نوع عملیات را دارد. حل این مسئله منجر به بهینه شدن معیارهای موردنیاز خواهد شد.

در تحقیق پیشرو مسئله زمان‌بندی کارگاهی انعطاف‌پذیر با هدف کمینه کردن همزمان چهار معیار بیشینه زمان تکمیل کارها، بیشینه بارکاری ماشین‌ها، مجموع بارکاری ماشین‌ها و مجموع هزینه تولید مورد بررسی قرار گرفته است. زمان راه‌اندازی وابسته نیز در این مسئله لحاظ شده است. برای حل این مسئله یک الگوریتم ژنتیک چند هدفه بهبود یافته بسط داده شد. همچنین با توجه به خصوصیات مسئله فوق، بازنمایی کروموزوم‌ها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک بهبود یافتند. مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات اخیر بر روی مسائل معیار، بیانگر کارایی الگوریتم پیشنهادی در یافتن جواب بهینه می‌باشد.

کلمات کلیدی:

زمان‌بندی، مسئله زمان‌بندی کارگاهی انعطاف‌پذیر، الگوریتم ژنتیک، چند هدفه

فهرست مطالب

۲	۱- مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- ضرورت انجام تحقیق
۳	۱-۳- اهداف تحقیق
۴	۱-۴- مسئله تحقیق
۵	۱-۵- متدولوژی تحقیق
۸	۲- مروری بر تحقیقات
۸	۲-۱- مقدمه
۸	۲-۲- تعریف زمان بندی
۹	۲-۲-۱- تعریف مسئله زمان بندی عمومی
۱۰	۲-۳- مسئله زمان بندی کارگاهی انعطاف پذیر
۱۱	۲-۴- پیشینه تحقیق
۱۶	۲-۵- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۸	۳- مبانی مسئله زمان بندی کارگاهی
۱۸	۳-۱- مقدمه
۱۸	۳-۲- تعریف مسئله زمان بندی کارگاهی
۱۹	۳-۳- دسته بندی مسائل زمان بندی
۱۹	۳-۳-۱- محیط ماشین
۲۱	۳-۳-۲- مشخصات و ویژگی های کار

۲۲	۳-۳-۳- معیارهای بهینه‌سازی
۲۳	۴-۳-۳- علائم‌گذاری مسائل زمان‌بندی
۲۵	۴-۳- نظریه پیچیدگی
۲۶	۵-۳- روش‌های حل
۲۸	۵-۳- زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر
۲۸	۱-۵-۳- تعریف مسئله
۲۹	۱-۵-۳- انعطاف‌پذیری
۳۴	۴- مبانی الگوریتم ژنتیک
۳۴	۱-۴- مقدمه
۳۴	۲-۴- تشریح الگوریتم ژنتیک
۳۵	۳-۴- ساختار الگوریتم ژنتیک
۳۵	۱-۳-۴- افراد یا کروموزوم‌ها
۳۶	۲-۳-۴- جمعیت
۳۶	۴-۳-۴- کدگذاری و قیود مسئله
۳۷	۵-۳-۴- تعیین جمعیت اولیه
۳۷	۴-۴- تابع هدف
۳۷	۵-۴- برازندگی
۳۸	۶-۴- انتخاب
۳۸	۷-۴- تکنیک‌های انتخاب
۳۸	۱-۷-۴- چرخ گردان
۴۰	۲-۷-۴- نمونه‌برداری تصادفی کلی

- ۴۰-۷-۳- انتخاب مسابقه‌ای ۴۰
- ۴۰-۸- تقاطع ۴۰
- ۴۰-۸-۱- تقاطع یک نقطه‌ای ۴۰
- ۴۱-۸-۲- تقاطع چند نقطه‌ای ۴۱
- ۴۲-۸-۳- تقاطع یکنواخت ۴۲
- ۴۲-۹- جهش ۴۲
- ۴۳-۱۰- الگوریتم نخبه‌گرا ۴۳
- ۴۴-۱۱- دستور خاتمه الگوریتم ۴۴
- ۴۴-۱۲- الگوریتم ژنتیک در یک نگاه ۴۴
- ۴۶-۱۳- نقاط قوت الگوریتم‌های ژنتیکی ۴۶
- ۴۹-۵- ارائه مدل و روش حل پیشنهادی ۴۹
- ۴۹-۵-۱- مقدمه ۴۹
- ۴۹-۵-۲- تشریح مسئله ۴۹
- ۵۰-۵-۲-۱- فرضیات و محدودیت‌های مسئله ۵۰
- ۵۰-۵-۲-۲- تابع هدف مسئله ۵۰
- ۵۲-۵-۳- نحوه مدل سازی مسئله ۵۲
- ۵۵-۵-۴- روش حل ۵۵
- ۵۷-۵-۴-۱- بازنمایی کروموزوم‌ها ۵۷
- ۵۸-۵-۴-۲- ایجاد جمعیت اولیه ۵۸
- ۵۹-۵-۴-۳- تابع هدف ۵۹
- ۵۹-۵-۴-۴- روش انتخاب ۵۹

۶۰	..... عملگر تقاطع ۵-۴-۵
۶۱	..... عملگر جهش ۶-۴-۵
۶۳	..... ترکیب نسل جدید ۷-۴-۵
۶۳	..... معیار توقف ۸-۴-۵
۶۳	..... جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۵-۵
۶۵	..... نتایج محاسباتی و تحلیل آن‌ها ۶-۵
۶۵	..... ۱-۶ مقدمه
۶۵	..... ۲-۶ صحت سنجی روش ارائه شده
۶۶	..... ۱-۲-۶ حل مسئله 4×5 با ۱۲ عملیات
۶۸	..... ۲-۲-۶ حل مسئله 8×8 با ۲۷ عملیات
۷۰	..... ۳-۲-۶ حل مسئله 10×10 با ۳۰ عملیات
۷۳	..... ۴-۲-۶ حل مسئله 15×10 با ۵۶ عملیات
۷۷	..... ۳-۶ حل مسئله نمونه
۸۱	..... ۴-۶ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۸۳	..... ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۳	..... ۱-۷ مقدمه
۸۳	..... ۲-۷ جمع‌بندی نتایج بدست آمده
۸۵	..... ۳-۷ پیشنهادات برای تحقیقات آتی
۸۷	..... فهرست منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ روند انجام تحقیق ۶
- شکل ۱-۳ نمونه‌ای از نمودار گانت ۱۹
- شکل ۲-۳ محیط‌های ماشین در سیستم‌های تولید تک مرحله‌ای ۲۰
- شکل ۳-۳ محیط‌های ماشین در سیستم‌های تولید چند مرحله‌ای ۲۱
- شکل ۴-۳ سلسله مراتب پیچیدگی محیط‌های ماشینی ۲۶
- شکل ۵-۳ دسته بندی روش‌های حل ۲۷
- شکل ۶-۳ شبکه باز نمایی انعطاف‌پذیری ۳۱
- شکل ۱-۴ نمایش یک کروموزم با ارقام صفر و یک با سه متغیر (ژن) ۳۵
- شکل ۲-۴ چرخ گردان متشکل از چهار فرد ۳۹
- شکل ۳-۴ تولید مثل بر اساس تقاطع یک نقطه‌ای ۴۱
- شکل ۴-۴ تقاطع چند نقطه‌ای ۴۲
- شکل ۵-۴ تقاطع یکنواخت ۴۲
- شکل ۶-۴ نحوه عملکرد عملگر جهش در سیستم دودویی ۴۳
- شکل ۷-۴ الگوریتم ژنتیک در یک نگاه ۴۵
- شکل ۱-۵ رویه الگوریتم ژنتیک ۵۶
- شکل ۲-۵ نمودار گانت برای یکی از جواب‌های مسئله نمونه ۵۷
- شکل ۳-۵ نحوه کارکرد عملگر تقاطع تک نقطه‌ای ابداعی ۶۱
- شکل ۴-۵ نحوه عملکرد عملگر جهش بر روی توالی عملیات ۶۲
- شکل ۱-۶ نمودار گانت مسئله 4×5 با ۱۲ عملیات ۶۷
- شکل ۲-۶ نمودار گانت مسئله 8×8 با ۲۷ عملیات ۶۹
- شکل ۳-۶ نمودار گانت مسئله 10×10 با ۳۰ عملیات ۷۲
- شکل ۴-۶ نمودار گانت مسئله 15×10 با ۵۶ عملیات ۷۶
- شکل ۵-۶ نمودار گانت برای مسئله 4×5 با در نظر گرفتن هزینه و زمان راه‌اندازی ۸۰
- شکل ۶-۶ نمودار گانت برای مسئله 4×5 با افزایش وزن معیار هزینه ۸۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۳ مشخصات و ویژگی‌های کار ۲۲
- جدول ۲-۳ معیارهای بهینه‌سازی ۲۳
- جدول ۳-۳ محیط‌های ماشین ۲۴
- جدول ۴-۳ محدودیت‌ها و شرایط مسئله ۲۵
- جدول ۱-۶ زمان‌های انجام هر عملیات برای مسئله ۴×۵ با ۱۲ عملیات ۶۶
- جدول ۲-۶ مقایسه نتایج بدست آمده برای مسئله ۴×۵ ۶۷
- جدول ۳-۶ زمان‌های انجام هر عملیات برای مسئله ۸×۸ با ۲۷ عملیات ۶۸
- جدول ۴-۶ مقایسه نتایج بدست آمده برای مسئله ۸×۸ ۷۰
- جدول ۵-۶ زمان‌های انجام هر عملیات برای مسئله ۱۰×۱۰ با ۳۰ عملیات ۷۱
- جدول ۶-۶ مقایسه نتایج بدست آمده برای مسئله ۱۰×۱۰ ۷۳
- جدول ۷-۶ زمان‌های انجام هر عملیات برای مسئله ۱۵×۱۰ با ۵۶ عملیات ۷۴
- جدول ۸-۶ مقایسه نتایج بدست آمده برای مسئله ۱۰×۱۵ ۷۷
- جدول ۹-۶ هزینه استفاده از هر ماشین و اپراتور آن را در واحد زمانی ۷۸
- جدول ۱۰-۶ زمان‌های راه‌اندازی برای ماشین‌های شماره ۴ و ۳ ۷۸
- جدول ۱۱-۶ زمان‌های راه‌اندازی برای ماشین‌های شماره ۵ و ۲ ۷۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه بسیاری از شرکت‌های تولیدی بدون در نظر گرفتن اندازه و حجم تولیدشان تمایل به استفاده از سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سازمانی^۱ در سطح موردنیاز خود را دارند. دلیل این امر نقش پررنگ و مفید تکنولوژی اطلاعات^۲ در تمام سطوح مدیریتی است. سیستم‌های اطلاعاتی همواره در تلاش هستند تا با استفاده از منابع محدود موجود کارایی، کیفیت، بازده و امنیت سازمان را ارتقاء دهند. یکی از این حوزه‌ها در سازمان، حوزه برنامه‌ریزی است که یکی از مهمترین وظایف این بخش زمان‌بندی است.

زمان‌بندی^۳ به فعالیت تخصیص^۴ منابع به کارها و ترتیب‌دهی^۵ کارها روی منابع در طول زمان گفته می‌شود. مهم‌ترین هدف در زمان‌بندی، کاهش زمان بر اساس یک یا چند معیار عملکرد^۶ می‌باشد. یکی از شاخه‌های زمان‌بندی که مطالعه ما در تحقیق حاضر به آن محدود می‌شود زمان‌بندی ماشین است که دارای پیشینه‌ای غنی است و کاربردهایی در اکثر زمینه‌های اقتصادی از جمله در سیستم‌های ساخت و تولید، لجستیک، معماری کامپیوتری و ... دارد.

مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی^۷ یکی از مهم‌ترین مسائل زمان‌بندی ماشین است که در این محیط زمان‌بندی، مسیر کارها ثابت و مشخص بوده و نیازی به وجود مسیر یکسانی برای همه کارها نمی‌باشد. مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر^۸ تعمیم مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی است که در آن هر عملیات توسط مجموعه‌ای از ماشین‌ها قابل پردازش است. موضوع تحقیق حاضر حل مسئله زمان‌بندی کارگاهی انعطاف‌پذیر با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی^۹ ماشین‌ها و با هدف کمینه کردن پیشینه زمان تکمیل کارها^{۱۰}، پیشینه بارکاری ماشین، مجموع بارکاری ماشین‌ها و هزینه انجام عملیات، می‌باشد.

^۱ Enterprise Resource Planning (ERP)

^۲ Information Technology (IT)

^۳ Scheduling

^۴ Assigning

^۵ Sequencing

^۶ Performance Criteria

^۷ Job Shop Scheduling Problem (JSSP)

^۸ Flexible Job Shop Scheduling Problem (FJSP)

^۹ Setup Time

^{۱۰} Makespan (C_{max})

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

مسائل زمان‌بندی امروزه در اکثر محیط‌های اقتصادی به صورت یک مزیت رقابتی مطرح و شناخته شده است. بنابراین زمان‌بندی با توجه به جایگاه ویژه‌اش در سازمان، مورد توجه مدیران می‌باشد. همچنین ویژگی‌های خاص ریاضی این مسئله موجب گردیده است که ارائه راه‌کارهای کارآمد برای حل این مسئله مورد توجه محققین نیز باشد.

در مسئله تولید کارگاهی مسیر کارها ثابت و مشخص بوده و نیازی به وجود مسیر یکسانی برای همه کارها نمی‌باشد. در این محیط زمان‌بندی، فرض بر این است که تنها یک مسیر پردازش برای هر کار وجود دارد. این فرض به عدم انعطاف‌پذیری^۱ در سیستم تولیدی اشاره دارد و اجازه تولید محصولات در مسیرهای تولیدی مختلف را به سیستم تولیدی نمی‌دهد؛ ولی امروزه اکثر سیستم‌های ساخت و تولید دارای انعطاف‌پذیری هستند و کمتر سیستم ساخت و تولیدی را می‌توان یافت که انعطاف‌پذیری نداشته باشد. انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی و کنترل تولید نقش مهمی در افزایش کارایی سیستم‌های تولیدی دارد. ایجاد انعطاف‌پذیری از طریق تصمیم‌گیری متعدد و انتخاب طرح و مسیر عملیات در عین رعایت زمان‌بندی تولید، ارزش بالایی برای یک سیستم تولیدی انعطاف‌پذیر بوجود می‌آورد؛ چرا که افزایش تعداد انتخاب‌ها پتانسیل زیادی را برای بهبود عملکرد سیستم فراهم می‌کند. حل مسئله زمان‌بندی در محیط کارگاهی انعطاف‌پذیر به نوعی مهم‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین حالت مسئله زمان‌بندی است، که موضوع تحقیق حاضر نیز می‌باشد.

با مرور تحقیقات انجام گرفته، مشخص گردید که یکی از شکاف‌های موجود در این زمینه، حل مسئله با هدف کمینه‌کردن چهار معیار بیشینه زمان انجام کارها، بیشینه بارکاری ماشین، مجموع بارکاری ماشین‌ها و هزینه انجام عملیات با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی ماشین‌ها، می‌باشد. به همین منظور در تحقیق حاضر حل مسئله فوق مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف کلی تحقیق، ارائه یک مدل جهت معرفی مسئله زمان‌بندی کارگاهی انعطاف‌پذیر همراه با ارائه یک روش حل فراابتکاری بر پایه الگوریتم ژنتیک برای این مدل، جهت دستیابی به جواب مناسب می‌باشد. با

^۱ Flexible

توجه به نیاز روزافزون دنیای امروز در تحلیل و مد نظر قرار دادن چند هدف به صورت همزمان، چهار تابع هدف مد نظر قرار گرفته‌اند.

۱-۴- مسئله تحقیق

در مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی مسیر ساخت هر قطعه یکتا است. هدف از حل این مسئله، زمان‌بندی انجام عملیات روی ماشین‌های موجود است، به نحوی که توابع هدف مسئله بهینه گردند. در این تحقیق به مسئله‌ای فراگیرتر از مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی با نام مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر پرداخته می‌شود که زمان راه‌اندازی ماشین‌ها نیز در آن مد نظر گرفته شده است. در فصل‌های آتی شرح مبسوطی از این مباحث ارائه خواهد شد.

مسئله زمان‌بندی کارگاهی در زمره مسائل NP-hard طبقه‌بندی می‌گردد که برای حل آن‌ها نمی‌توان از روش‌های دقیق^۱ استفاده نمود. برای حل این‌گونه مسائل از روش‌های فراابتکاری^۲ استفاده می‌گردد. روش‌های فراابتکاری، شیوه حل مسئله با استفاده از روش‌های محاسباتی stochastic هستند که با بهره‌گیری از بهبود مکرر در جواب‌های محتمل، جواب یا جواب‌های نزدیک به بهینه را جستجو می‌کنند.

مسئله تحقیق مورد بررسی عبارت است از تعیین الگوریتمی فراابتکاری برای حل مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر با مد نظر گرفتن زمان راه‌اندازی ماشین‌ها.

در بیشتر مطالعات بررسی شده کمینه‌سازی بیشینه‌سازی زمان تکمیل کارها (C_{max})، تنها تابع هدف مسئله یا به صورت یکی از توابع هدف مد نظر گرفته شده است. این موضوع لزوم بهینه‌سازی C_{max} را در مسائل زمان‌بندی به ویژه در تولید کارگاهی تبیین می‌کند. در این تحقیق نیز کمینه‌سازی C_{max} به عنوان یکی از توابع هدف مد نظر گرفته شده است. کمینه‌سازی C_{max} به طور تلویحی کارایی بیشتر ماشین‌ها را در بر دارد. همچنین کمینه کردن این معیار باعث افزایش نرخ خروجی و سرعت فرایند ساخت و تولید می‌شود که یکی از اهداف مهم تولید است. این حالت باعث افزایش سطح خدمت به مشتری و افزایش سرعت فرایند ساخت می‌شود. کاهش مدت زمان ساخت منجر به کوتاه شدن چرخه تولید و رسیدن سریع محصول به دست مشتری می‌گردد.

^۱ Exact Methods

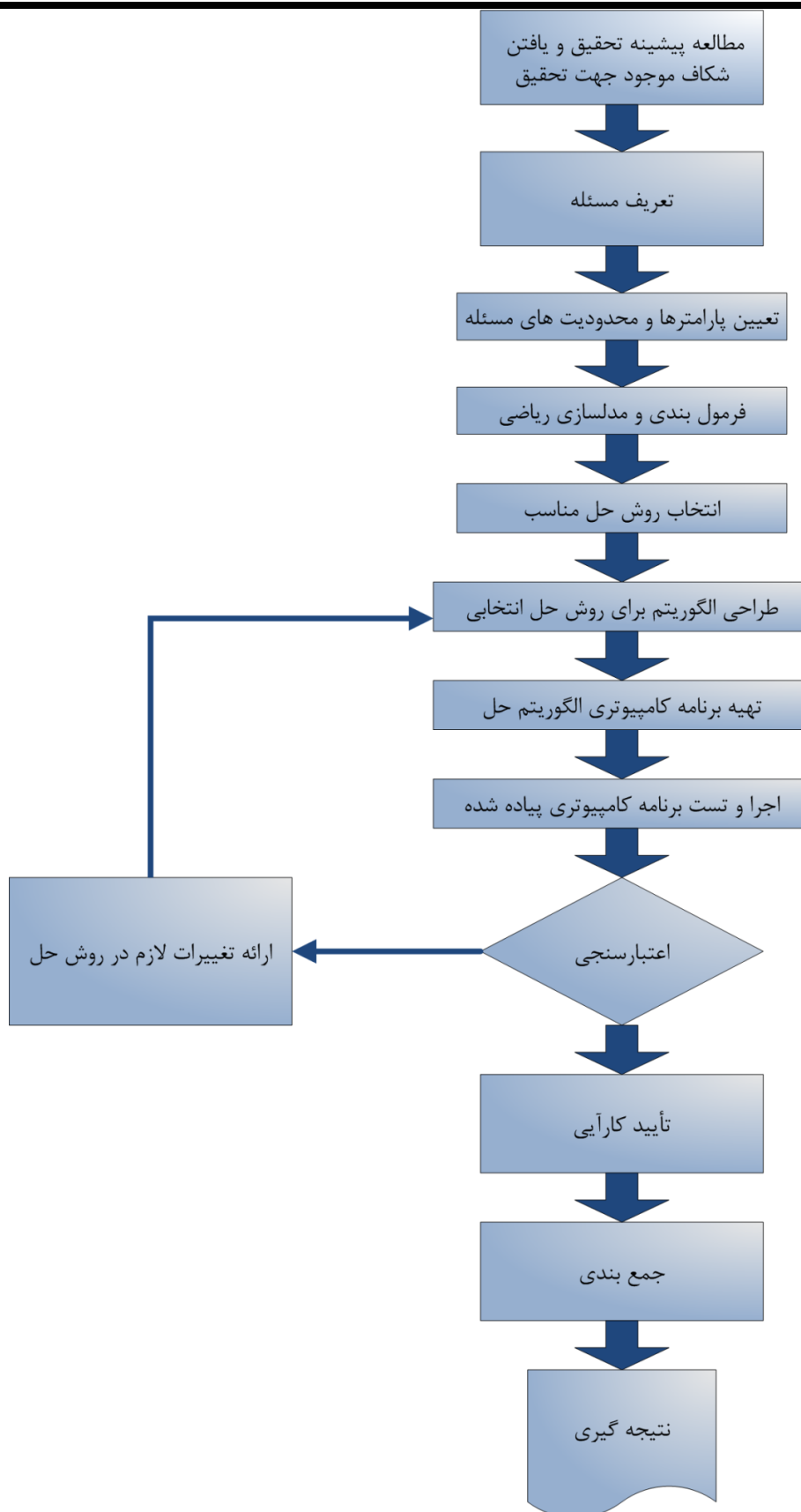
^۲ Metaheuristic

همچنین میزان استفاده از هر ماشین و تقسیم کارها بین ماشینها از مسائلی است که باعث کاهش استهلاک در ماشین آلات می شود از این رو دو معیار بیشینه بارکاری ماشین و مجموع بارکاری ماشینها نیز به عنوان توابع هدف بعدی در نظر گرفته شدند.

همچنین هزینه تولید همواره یکی از موارد مهم در فرایند ساخت و تولید است، که و همیشه باید سعی در بهینه کردن میزان هزینه داشت. در این تحقیق کمینه سازی هزینه به عنوان تابع هدف چهارم در نظر گرفته شده است.

۱-۵- متدولوژی تحقیق

پس از تعیین چهارچوب کلی مسأله تحقیق، اولین گام مطالعه پیشینه تحقیق به منظور کسب دانایی و مشخص شدن جایگاه تحقیق در میان مطالعات انجام شده قبلی است. ابزار جمع آوری داده در این تحقیق شامل منابع کتابخانه ای و الکترونیکی است. گام بعدی تعریف مسأله، تعیین پارامترهای مسأله و مشخص نمودن محدودیت ها است. پس از آن مدل ریاضی مسأله تحقیق و روش های حل متناسب با ویژگی های مسأله مورد نظر طرح می شود و در نهایت اعتبار سنجی، تأیید کارایی و جمع بندی روش های حل پیشنهادی انجام خواهد شد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ روند انجام تحقیق

فصل دوم

مروری بر تحقیقات

۲-۱- مقدمه

مسائل زمان‌بندی در همه زمینه‌های اقتصادی از مهندسی کامپیوتر تا تکنیک‌های ساخت و تولید کاربرد دارد. این مسائل به واسطه طبیعت پیچیده‌شان در دهه‌های اخیر توجه خیلی از پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. در این فصل ابتدا به مباحث کلی مسئله زمان‌بندی عمومی خواهیم پرداخت. سپس به منظور آشنایی با زمینه تحقیق و تبیین جایگاه مسئله تحقیق، تحقیقات اخیر در رابطه با زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر که تعمیم مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی است، آورده خواهد شد و در پایان با جمع‌بندی مطالب فصل، جایگاه مسئله تبیین خواهد شد.

۲-۲- تعریف زمان‌بندی

به طور کلی زمان‌بندی به فعالیت تخصیص منابع به کارها در طول زمان گفته می‌شود. این تعریف نسبتاً کلی دو مفهوم مختلف را می‌رساند. نخست این که زمان‌بندی نوعی تصمیم‌گیری و فرایندی است که در جریان آن برنامه زمانی تعیین می‌شود؛ که این مبحث ارزش علمی دارد. ثانیاً زمان‌بندی مبحث نظری است که مجموعه‌ای از اصول، مدل‌ها، روش‌ها و نتایج منطقی را در بر می‌گیرد و بینشی عمیق در مورد عمل زمان‌بندی فراهم می‌کند. مسئله عملی تخصیص منابع در طول زمان برای اجرای مجموعه‌ای از وظایف، در وضعیت‌های مختلف مطرح می‌شود. اما در بیشتر موارد عمل زمان‌بندی کارها پس از حل برخی از مسائل مربوط به برنامه‌ریزی اصولی مورد توجه قرار می‌گیرد. کار زمان‌بندی صرفاً به وضعیتی مربوط می‌شود که در آن طبیعت کارهایی که باید زمان‌بندی شود توصیف شده است [۱].

عناصر مهم زمان‌بندی، کارها و منابع هستند که می‌توانند حالت‌های مختلفی داشته باشند. به طور مثال در یک کارگاه صنعتی، یک فرودگاه پر ترافیک، و یا یک پروژه‌ی ساختمانی، منابع به ترتیب ماشین‌های صنعتی از قبیل دستگاه‌های تراش و CNC، ورودی پرواز و هواپیماهای مختلف، مهندسين ساختمانی و تکنسین‌ها و کارگران است. به همین ترتیب کارها، عملیات مختلف ماشینکاری، پروازها و نشست هواپیماها و مراحل مختلف اجرای عملیات ساختمانی می‌باشد [۱].

گستره تئوری زمان‌بندی شامل موضوعاتی از قبیل زمان‌بندی ماشین، زمان‌بندی حمل و نقل، زمان‌بندی منابع انسانی، زمان‌بندی پروژه‌ها، و... می‌باشد. در این تحقیق مطالعه ما فقط به زمان‌بندی ماشین‌ها محدود می‌شود. زمان‌بندی ماشین شامل مسائلی است که مجموعه‌ای از کارها یا وظایف برای انجام بر روی یک یا چند ماشین برنامه‌ریزی می‌شوند [۲].

زمان‌بندی عملیات یکی از بحرانی‌ترین موضوعاتی است که در برنامه‌ریزی و مدیریت فرایندهای ساخت مطرح است. پیدا کردن بهترین برنامه زمانی با توجه به نوع محیط‌کاری، محدودیت‌های فرایند حاکم بر مسئله و شاخص‌های عملکرد، می‌تواند بسیار آسان یا بسیار سخت باشد [۳].

۲-۲-۱- تعریف مسئله زمان‌بندی عمومی

مکارتی و لیو^۱، در سال ۱۹۹۳ مسئله زمان‌بندی عمومی را به این شکل تعریف و فرموله کرده‌اند: n کار و m ماشین موجود است. انجام هر کار به مجموعه عملیات مشخصی نیازمند است. پردازش کار J_i توسط ماشین M_j عملیات O_{ij} نامیده می‌شود. طول پردازش عملیات O_{ij} معلوم و قطعی و برابر P_{ij} است. ترتیب حرکت هر کار بین ماشین‌های مختلف الگوی جریان^۲ یا مسیر ساخت^۳ نامیده می‌شود. این مسیر می‌تواند برای کارهای مختلف یکسان یا متفاوت باشد. هر کار دارای زمان ورود I_i و موعد تحویل d_i است. برنامه زمان‌بندی برنامه‌ای است که در آن توالی انجام عملیات کارها بر روی ماشین‌ها در طول زمان تعیین شده است. برنامه امکان‌پذیر^۴، برنامه‌ای است که در آن محدودیت‌های تکنولوژیک رعایت شده است و عملیات تداخل زمانی ندارند. هدف از حل مسئله زمان‌بندی یافتن برنامه زمان‌بندی امکان‌پذیری است که یک یا چند معیار عملکرد را بهینه کند. معیارهای عملکرد توابعی برای اندازه‌گیری عملکرد سیستم می‌باشند [۴].

فرنچ^۵، در سال ۱۹۸۲ فرض‌های مسئله زمان‌بندی عمومی را به شرح زیر بیان کرده است:

- هر ماشین در هر لحظه تنها می‌تواند یک عملیات را پردازش کند.
- هر کار در هر لحظه تنها می‌تواند به وسیله یک ماشین پردازش شود.

^۱ McCarthy and Liu

^۲ Flow Pattern

^۳ Rout

^۴ Feasible

^۵ French

- قطع کردن عملیات مجاز نیست.
 - ماشین‌ها همیشه در دسترس هستند و خراب نمی‌شوند.
 - از هر ماشین یک عدد موجود است.
 - انبار پای کار مجاز و ظرفیت آن نامحدود است.
 - زمان‌های پردازش عملیات و مسیر ساخت هر کار قطعی، یکتا و معلوم است.
 - زمان‌های آماده‌سازی مستقل از توالی است و در زمان پردازش لحاظ شده است.
 - زمان حمل و نقل قابل چشم‌پوشی است.
- بعضی از فرض‌های فوق در کاربرد غیر واقعی بوده و تنها برای ساده‌تر شدن مدل و امکان‌پذیر شدن آن در نظر گرفته شده است. بنابراین برای حل یک مدل در دنیای واقعی بایستی بعضی از فرض‌های فوق حذف و بعضی فرض‌ها و محدودیت‌های جدید به آن اضافه شود [۵].

۲-۳- مسئله زمان‌بندی کارگاهی انعطاف‌پذیر

مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی^۱ یکی از مهم‌ترین مسائل مدیریت تولید است و جزء سخت‌ترین مباحث بهینه‌سازی ترکیبی است. در مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی، مسیر کارها ثابت و مشخص بوده و نیازی به وجود مسیر یکسانی برای همه کارها نمی‌باشد. در این زمان‌بندی فرض بر این است که تنها یک مسیر پردازش برای هر کار وجود دارد که این به عدم انعطاف‌پذیری در سیستم تولیدی اشاره دارد. مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر^۲ تعمیم مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی است که در آن هر عملیات توسط مجموعه‌ای از ماشین‌ها قابل پردازش است و یا به بیانی دیگر، هر ماشین توانایی پردازش بیش از یک نوع عملیات را دارد. این مسئله برای اولین بار توسط براکر و شلی^۳ در سال ۱۹۹۰ مورد مطالعه قرار گرفت. آن‌ها یک الگوریتم چند جمله‌ای برای حل مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر با دو کار ارائه کردند [۶].

^۱ Job Shop (JS)

^۲ Flexible Job Shop (FJS)

^۳ Bruker and Schlie

۴-۲- پیشینه تحقیق

برندی مارت^۱ در سال ۱۹۹۳ به بررسی مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر با تابع هدف کمینه سازی C_{max} پرداخته است و با استفاده از یک الگوریتم سلسله مراتبی بر اساس تجزیه مسئله به دو زیر مسئله مسیریابی و زمان‌بندی به حل این مسئله پرداخته است. نخست برای حل زیر مسئله مسیریابی از قواعد اولویت‌بندی استفاده می‌کند و مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر را به یک مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی تقلیل می‌دهد. سپس با یک الگوریتم جستجوی ممنوع^۲ مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی را حل می‌کند. الگوریتم سلسله‌مراتبی در دو نسخه طراحی شده است. در نسخه نخست جریان اطلاعات یک طرفه و از زیر مسئله مسیریابی به زیر مسئله زمان‌بندی است به طوری که با پایان یافتن الگوریتم جستجوی ممنوع و یافتن برنامه زمان‌بندی به ازای مسیر انتخابی، با استفاده از یک قاعده اولویت‌بندی جدید، یک مسیر جدید برای زیر مسئله مسیریابی تولید می‌شود و دوباره الگوریتم جستجوی ممنوع اجرا می‌شود. این فرایند تا رسیدن به یک شرط خاتمه تکرار می‌شود. در نسخه دوم، جریان اطلاعات دو طرفه است. در این حالت با خاتمه الگوریتم جستجوی ممنوع نتایج حاصل از زیر مسئله زمان‌بندی بر انتخاب مسیر جدید در زیر مسئله مسیریابی تأثیر می‌گذارد و بر اساس نتایج زمان‌بندی مسیر جدید تولید می‌شود و فرایند حل تا رسیدن به شرط خاتمه تکرار می‌شود. نتایج آزمایش‌های عددی، برتری نسخه دوم را تأیید می‌کنند [۸].

دارق - پقس و پائولی^۳ در سال ۱۹۹۷ عملکرد الگوریتم جستجوی ممنوع را روی مسئله زمان‌بندی تولید کارگاهی چند پرداز^۴ مورد مطالعه قرار داده‌اند. این مسئله همان مسئله تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر است. در این مطالعه نخست مدل کلاسیک گراف انفصالی^۵ تولید کارگاهی را برای مسئله‌ای توسعه داده‌اند که در آن حرکت یک عملیات به معنی تخصیص مجدد به یک ماشین دیگر و یا ایجاد توالی دیگر روی همان ماشین است که با استفاده از این تعریف یک رویکرد یکپارچه برای حل مسئله با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع ارائه کرده‌اند. سپس نشان داده‌اند تعریف حرکت عملیات در گراف انفصالی دور ایجاد نخواهد کرد و

^۱ Brandimarte

^۲ Tabu Search (TS)

^۳ Dauzère - pérès and Paulli

^۴ Multiprocessor Job Shop

^۵ Disjunctive graph