بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه پیام نور

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی صنایع

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی صنایع

عنوان پایان‌نامه:

حل مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و سیستم تولید سلولی پویا با استفاده از روش فراابتکاری چندهدفه

نگارنده:

عاطفه کهفی اردکانی

استاد راهنما:

دکتر فرناز برزین‌پور

استاد مشاور:

دکتر رضا توکلی‌مقدم

شهریور ۱۳۸۹

تقدیم به:

پدر و مادر فداکارم و همسر بسیار عزیزم

که در این راه متحمل زحمات بسیار شدند،

از هیچ کمکی دریغ ننموده و همواره مشوق من بوده‌اند.

تشکر و قدردانی:

با حمد و سپاس به درگاه ایزد منان،

بر خود لازم می‌دانم تا بدین وسیله از خانواده عزیز و همسر محترمم کمال تشکر را داشته باشم. همچنین مراتب قدردانی و سپاس خود را از استادان ارجمند خانم دکتر فرناز برزین‌پور به پاس راهنمایی‌های کارگشا، مؤثر و همراهی مداوم و جناب آقای دکتر رضا توکلی‌مقدم به پاس مشاوره‌های ارزشمند، ابراز می‌نمایم.

چکیده

سیستم تولید سلولی یکی از سیستم‌های کارآمد برای محیط‌های تولیدی با حجم و تنوع بالای محصولات است. مراحل اجرای سیستم تولید سلولی شامل تشکیل سلول، برنامه‌ریزی تولید، زمان‌بندی و ارایه استقرار نهایی است. مسأله برنامه‌ریزی تولید و تشکیل سلول دو جزء مهم از این سیستم هستند که تأثیر متقابلی بر روی هم دارند و اغلب به صورت مجزا بررسی می‌شوند.

کاهش دوره عمر محصول و وجود تقاضا و ترکیب متغیر محصولات، شرایط پویا را در سیستم‌های تولیدی ایجاد می‌کند؛ اما سیستم تولید سلولی سنتی ایستا بوده و هر تغییری در تقاضای محصول در این نوع سیستم نادیده گرفته می‌شود. جهت رفع این مشکل سیستم تولید سلولی سنتی به سیستم تولید سلولی پویا تبدیل می‌شود. در این سیستم، افق زمانی به دوره‌های کوچکتر با تقاضای متفاوت تقسیم می‌شود و ممکن است ساختار سلول‌ها در دوره جاری برای دوره بعد بهینه نباشد.

استقرار مجدد سلولی مهم‌ترین مسأله در سیستم تولید سلولی است. به دلیل تأثیر اهداف برنامه‌ریزی تولید بر استقرار مجدد و نحوه تشکیل سلول در شرایط پویا، یکپارچه‌سازی آن‌ها مسأله مهمی است که در تحقیقات محدودی بررسی شده است. در این تحقیق مسأله یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و تشکیل سلول در سیستم تولید سلولی پویا با اهداف حداقل‌سازی هزینه‌های کلی، بالانس بارکاری بین سلولی و حداکثر استفاده از ماشین‌ها در سیستم به صورت هم‌زمان در نظر گرفته می‌شود. با توجه به تضاد موجود بین این اهداف، یک روش بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه ابتکاری (MOPSO-CD) برای حل مسأله مورد نظر پیشنهاد می‌شود. مقایسه نتایج حل مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم‌های MOPSO-CD، MOPSO و NSGA-II، برتری الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلید واژه: سیستم تولید سلولی پویا، برنامه‌ریزی تولید، مسأله تشکیل سلول، برنامه‌ریزی چندهدفه، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: **کلیات تحقیق**

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف مسأله ۲

۱-۳- اهداف تحقیق ۴

۱-۴- مفروضات ۴

۱-۵- نوآوری تحقیق ۵

۱-۶- ساختار تحقیق ۶

فصل دوم: **مرور ادبیات و پیشینه تحقیق**

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- سیستم تولید سلولی ۸

۲-۲-۱- انواع سیستم‌های تولید سلولی ۱۱

۲-۲-۲- مزایای سیستم‌های تولید سلولی ۱۳

۲-۲-۳- معایب سیستم‌های تولید سلولی ۱۴

۲-۳- سیستم تولید سلولی پویا ۱۵

۲-۴- برنامه‌ریزی تولید ۱۷

۲-۵- یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تولید و سیستم تولید سلولی پویا ۱۸

۲-۶- بهینه‌سازی مسایل چندهدفه ۱۹

۲-۶-۱- مفاهیم پایه ۲۰

۲-۶-۲- روش‌های حل مسایل چندهدفه ۲۱

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۲-۷- مرور ادبیات موضوع ۲۳

۲-۷-۱- سیستم‌های تولید سلولی پویای تک‌هدفه ۲۳

۲-۷-۲- یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تولید و سیستم تولید سلولی پویا ۲۵

۲-۷-۳- سیستم‌های تولید سلولی پویای چندهدفه ۲۷

۲-۷-۴- روش‌های حل مسایل سیستم‌های تولید سلولی چندهدفه ۳۱

۲-۸- جمع‌بندی ۳۲

فصل سوم: **مدل ریاضی پیشنهادی**

۳-۱- مقدمه ۳۴

۳-۲- مدل ریاضی پیشنهادی ۳۴

۳-۲-۱- اهداف مدل ۳۴

۳-۲-۲- ویژگی‌های مدل ۳۶

۳-۲-۳- مفروضات ۳۷

۳-۲-۴- اندیس‌ها ۳۸

۳-۲-۵- پارامترهای ورودی ۳۹

۳-۲-۶- متغیرهای تصمیم ۴۰

۳-۲-۷- مدل ریاضی ۴۱

۳-۳- خطی‌سازی مدل ۴۵

۳-۳-۱- مدل ریاضی پیشنهادی خطی ۴۷

۳-۴- مثال عددی ۴۸

۳-۵- جمع‌بندی ۵۰

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل چهارم: **روش‌های حل پیشنهادی**

۴-۱- مقدمه ۵۲

۴-۲- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۲

۴-۲-۱- مراحل الگوریتم پیشنهادی ۵۴

۴-۳- الگوریتم ترکیبی ژنتیک و بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۵

۴-۳-۱- مراحل الگوریتم پیشنهادی ۵۶

۴-۴- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه ۵۸

۴-۴-۱- مراحل الگوریتم پیشنهادی ۶۰

۴-۵- الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات مبتنی بر فاصله جمعیت ۶۳

۴-۵-۱- مراحل الگوریتم پیشنهادی ۶۵

۴-۶- الگوریتم NSGA-II ۶۸

۴-۷- جمع‌بندی ۶۸

فصل پنجم: **نتایج محاسباتی**

۵-۱- مقدمه ۷۰

۵-۲- طراحی آزمایشات عددی ۷۰

۵-۲-۱- طراحی مسایل نمونه ۷۰

۵-۲-۲- نحوه نمایش جواب‌ها ۷۲

۵-۳- محاسبات و تحلیل نتایج در حالت تک‌هدفه ۷۴

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۵-۳-۱- تنظیم پارامترها ۷۵

۵-۳-۲- نتایج محاسباتی ۷۷

۵-۴- محاسبات و تحلیل نتایج در حالت چندهدفه ۸۲

۵-۴-۱- معیارهای مقایسه مسایل چندهدفه ۸۲

۵-۴-۲- نتایج محاسباتی ۸۴

۵-۵- جمع‌بندی ۸۸

فصل ششم: **نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی**

۶-۱- مقدمه ۹۰

۶-۲- جمع‌بندی تحقیق ۹۰

۶-۳- دستاوردهای تحقیق ۹۱

۶-۴- پیشنهادات آتی ۹۲

مراجع ۹۳

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۹۹

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۲

پیوست الف: الگوریتم NSGA-II ۱۰۵

پیوست ب: کدهای LINGO مورد استفاده در حل مدل پیشنهادی ۱۰۸

پیوست ج: نمایش جواب‌های الگوریتم‌های پیشنهادی ۱۱۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مهم‌ترین خصوصیات مسایل سیستم تولید سلولی ۲۹

جدول ۲-۲: مرور ادبیات سیستم‌های تولید سلولی پویا بر اساس سال ارایه ۳۰

جدول ۲-۳: روش‌های حل مسایل CMS و DCMS چندهدفه تاکنون ۳۱

جدول ۳-۱: توزیع داده‌های مورد نیاز ۴۸

جدول ۳-۲: مقایسه نتایج مثال اول ۴۹

جدول ۵-۱: مشخصات مسایل نمونه ۷۱

جدول ۵-۲: توزیع داده‌های مورد نیاز ۷۲

جدول ۵-۳: حالت‌های مختلف پارامترهای ورودی الگوریتم PSO و GA-PSO ۷۵

جدول ۵-۴: بهترین پارامترهای ورودی الگوریتم PSO و GA-PSO ۷۷

جدول ۵-۵: مقایسه نتایج حل مسایل با اندازه کوچک به وسیله LINGO، PSO و GA-PSO ۷۸

جدول ۵-۶: مقایسه نتایج حل مسایل با اندازه‌های مختلف به وسیله PSO و GA-PSO ۸۰

جدول ۵-۷ بهترین پارامترهای ورودی الگوریتم MOPSO و MOPSO-CD ۸۲

جدول ۵-۸: مقایسه نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس معیار درصد B/A ۸۴

جدول ۵-۹: مقایسه نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس معیار متوسط فاصله جواب‌های غیرمغلوب از جواب ایده‌آل ۸۵

جدول ۵-۱۰: مقایسه نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس معیار متوسط فاصله جواب‌های غیرمغلوب از میانگین جواب‌ها ۸۶

جدول ۵-۱۱: مقایسه نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس زمان (بر حسب ثانیه) ۸۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: سیستم تولید کارگاهی ۹

شکل ۲-۲: سیستم تولید محصولی ۱۰

شکل ۲-۳: سیستم تولید سلولی ۱۱

شکل ۲-۴: سیستم تولید سلولی مجازی ۱۲

شکل ۲-۵: سیستم تولید سلولی پویا ۱۶

شکل ۲-۶: دسته‌بندی محیط‌های سلولی ۱۶

شکل ۲-۷: نمایش مرز بهینه پارتو برای تابع دو هدفه در حالت‌های الف)گسسته و ب) پیوسته ۲۱

شکل ۳-۱: ساختار سلولی پیشنهادی مثال اول در [۲۶] ۴۹

شکل ۳-۲: ساختار سلولی پیشنهادی مثال اول برای مدل پیشنهادی ۵۰

شکل ۴-۱: شبه کد الگوریتم PSO پیشنهادی ۵۵

شکل ۴-۲: ساختار الگوریتم GA-PSO پیشنهادی..... ۵۷

شکل ۴-۳: شبه کد الگوریتم GA-PSO پیشنهادی ۵۸

شکل ۴-۴: نحوه عملکرد برآوردکننده چگالی کرنل ۶۱

شکل ۴-۵: شبه کد الگوریتم MOPSO ۶۳

شکل ۴-۶: فاصله جمعیت اختصاص‌یافته به هر فرد ۶۴

شکل ۴-۷: شبه کد الگوریتم MOPSO-CD ۶۷

شکل ۵-۱ نحوه نمایش جواب ۷۲

شکل ۵-۲ نحوه نمایش جواب در یک مثال ۷۴

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۵-۱: مقایسه نتایج مسأله ۳ و ۴ بر اساس معیار ARE ۷۶

نمودار ۵-۲: مقایسه نتایج مسأله ۳ و ۴ بر اساس معیار S.D ۷۶

نمودار ۵-۳: نرخ همگرایی الگوریتم PSO در مسأله ۱۰ ..... ۸۱

نمودار ۵-۴: نرخ همگرایی الگوریتم GA-PSO در مسأله ۱۰ ..... ۸۱

فهرست اختصارات

ARE:	Average Reration Error
CF:	Cell Formation
CMS:	Cellular Manufacturing System
DCMS:	Dynamic Cellular Manufacturing System
FMS:	Flexible Manufacturing System
GA:	Genetic Algorithm
gbest:	Global Best
GT:	Group Technology
JIT:	Just In Time
lbest:	Local Best
MOGGA:	Multi-Objective Grouping Genetic Algorithm
MOPSO:	Multi-objective Particle Swarm Optimization
MOSS:	Multi-Objective Scatter Search
NPGA:	Niched Pareto GA
NSGA-II:	Non-dominated Sorting GA-II
pbest:	Personal Best
PRAS:	Percentage Reduction in the Average Solution
PRBS:	Percentage Reduction in the Best Solution
PSO:	Particle Swarm Optimization
SA:	Simulated Annealing
SPEA-II:	Strengthen Pareto Evolutionary Algorithms-II
SSEI:	Scatter Search approach Excluding the Improvement method
SSIR:	Scatter Search approach generating Initial solutions Randomly
TS:	Tabu Search
VCMS:	Virtual CMS
VEGA:	Vector Evaluation GA
WSA:	Weighted Sum Approach

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

فشار رقابتی بازار جهانی، خواسته‌های متعدد و گوناگون مشتریان، تولیدکنندگان را وادار به افزایش کارایی فعالیت‌ها و فرآیند تولیدی کرده است. بنابراین به نظر می‌رسد دستیابی به تولید به موقع[1] (JIT) امری ضروری است. یک رویکرد متداول در توسعه سیستم‌های تولیدی که قادر به انطباق سریع با تغییرات تقاضا بدون نیاز به سرمایه‌گذاری مجدد زیادی باشد، تکنولوژی گروهی[2] (GT) است. GT یک فلسفه تولیدی است که قطعات را با استفاده از مزیت تشابه در مراحل طراحی به خانواده‌های مشابه و ماشین‌های مورد نیاز را به سلول‌ها اختصاص می‌دهد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای GT در زمینه‌ی ساخت و تولید، سیستم تولید سلولی[3] (CMS) است. CMS یکی از سیستم‌های کارآمد برای محیط‌های تولیدی با حجم و تنوع بالای محصولات بوده که با ترکیب مزایای سیستم تولید محصولی و کارگاهی، زمینه رشد و ترقی در بازارهای جهانی را فراهم می‌کند.

۱-۲- تعریف مسأله

CMS به معنی پردازش مجموعه‌ای از قطعات مشابه بر روی گروه مشخصی از ماشین‌آلات یا فرآیندهای تولیدی است [۱]. مهم‌ترین اهداف CMS، کاهش زمان پیشبرد[4]، هزینه حمل و نقل مواد، زمان راه‌اندازی[5] و موجودی کالاهای ساخته شده و در جریان ساخت و همچنین ارایه برنامه‌ریزی تولید ساده‌تر و رضایت شغلی بیشتر است [۱]. CMS سنتی ایستا بوده و هر تغییری در تقاضای محصول در این سیستم به کمک اضافه‌کاری جبران و از طراحی مجدد استقرار صرف‌نظر می‌شود. در واقع در این سیستم ترکیب و تقاضای قطعه ثابت فرض شده و به صورت تک دوره‌ای برنامه‌ریزی و سایر دوره‌ها با همان برنامه ثابت پیاده‌سازی می‌شود.

[1] Just In Time
[2] Group Technology
[3] Cellular Manufacturing System
[4] Lead Time
[5] Setup Time

مراحل پیاده‌سازی CMS شامل تشکیل سلول[1] (CF)، طراحی استقرار[2]، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی[3] تولید قطعات و تخصیص منابع است [۲]. اغلب مرحله تشکیل سلول به دلیل اهمیت آن در صدر توجه محقّقان قرار گرفته و نسبت به سایر مراحل طراحی، تحقیقات بیشتری روی آن انجام شده است؛ در حالی‌که مسأله برنامه‌ریزی تولید نیز جزء مهم دیگری از این سیستم است که اهداف و نتایج آن بر نحوه تشکیل سلول تأثیرگذار است. با توجه به ماهیت پویای مسأله برنامه‌ریزی تولید به دلیل نوسان تقاضا و ترکیب محصول، یکپارچه‌سازی آن با مسأله تشکیل سلول در CMS سنتی سخت و پیچیده است. بنابراین جهت غلبه بر معایب CMS سنتی، سیستم تولید سلولی پویا[4] (DCMS) تعریف شده است [۳].

در DCMS ممکن است استقرار تعیین شده یک سلول از دوره‌ای به دوره‌ی بعد تغییر کند. اگر تغییر در استقرار بدون هزینه باشد، امکان ایجاد استقرار بهینه در هر مرحله وجود خواهد داشت؛ اما به دلیل وجود هزینه‌هایی مانند هزینه جابجایی ماشین، استقرار مجدد[5] پس از تجزیه و تحلیل هزینه انجام می‌شود. خطا در تعیین استقرار بهینه در یک دوره ممکن است منجر به تجاوز از هزینه در دوره‌های بعدی گردد. از آنجا که پیاده‌سازی CMS نزدیک به بهینه مطلوب است، استقرار مجدد سلولی با هزینه کمتر، یکی از مسایل مهم در DCMS است.

استفاده از سیاست‌های برنامه‌ریزی تولید (مانند برون‌سپاری قطعات[6] یا نگهداری موجودی) در مسأله تشکیل سلولی در DCMS موجب کاهش هزینه‌های استقرار مجدد خواهد شد. البته کاهش هزینه استقرار مجدد با اهداف دیگری مانند کاهش هزینه حمل و نقل بین سلولی در تضاد است [۴]. همچنین هر تلاشی برای کاهش هزینه حمل و نقل بین سلولی به وسیله اضافه کردن ماشین یا برون‌سپاری قطعات منجر به افزایش هزینه‌ها، کاهش نرخ استفاده از ماشین و نامتعادل نمودن سطح

[1] Cell Formation
[2] Layout Design
[3] Scheduling
[4] Dynamic Cellular Manufacturing System
[5] Reconfiguration
[6] Subcontracting

استفاده از سلول‌ها می‌شود [۵]. بنابراین یکپارچه‌سازی مسأله برنامه‌ریزی تولید و تشکیل سلولی در DCMS، ماهیتی چندهدفه دارد و بررسی تأثیر اهداف بر یکدیگر امری ضروری است.

در این تحقیق سعی شده به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

۱) چه اهدافی را جهت توسعه مدل پیشنهادی با درنظر گرفتن شرایط واقعی و یکپارچه‌سازی آن با برنامه‌ریزی تولید می‌توان در نظر گرفت؟

۲) چه مؤلفه‌ها و مفروضاتی را جهت پویایی در سیستم تولیدی می‌توان در نظر گرفت؟

۳) یکپارچه‌سازی مسأله برنامه‌ریزی تولید و DCMS چه تأثیری بر روی یکدیگر دارد؟

۴) چه روش حل مناسبی با توجه به رویکرد چند هدفه می‌توان توسعه داد؟

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف اصلی این تحقیق ارایه یک مدل کاربردی برای مسأله یکپارچه برنامه‌ریزی تولید و تشکیل سلول تولیدی در DCMS با رویکرد چندهدفه بر مبنای در دسترس بودن ابزار است. تمرکز این تحقیق بر انتخاب برنامه تولیدی با کمترین مجموع هزینه‌ها، کاهش نگهداری موجودی و ایجاد موازنه بین برون‌سپاری قطعات و استقرار مجدد برای تمام افق برنامه‌ریزی است.

مسأله مهم دیگر در نظر گرفتن هدف کاهش هزینه‌های تولیدی و اهداف غیر هزینه‌ای در کنار یکدیگر و محاسبه صحیح آن‌ها در حالی‌که ماهیت برخی از این اهداف با یکدیگر در تضادند، است. با توجه به NP-hard بودن این‌گونه مسایل [۱] و تضاد بین اهداف، ارایه یک روش حل فراابتکاری چندهدفه کارآمد برای مدل پیشنهادی هدف دیگری است که در این تحقیق دنبال می‌شود.

۱-۴- مفروضات

مهم‌ترین مفروضات در نظر گرفته شده در این تحقیق به شرح زیر است:

۱) ترکیب و تقاضای هر قطعه در هر دوره معلوم و قطعی است.

۲) ماشین‌ها اجاره‌ای فرض شده بنابراین مشکلات خرید و فروش وجود ندارد.

۳) هر ماشین می‌تواند یک یا چند عملیات را بدون هزینه اضافی انجام دهد.

۴) برون‌سپاری قطعات استثناء، مجاز و فاصله زمانی بین دریافت سفارش برابر یک دوره است.

۵) سفارشات عقب‌افتاده و نگهداری موجودی در افق برنامه‌ریزی با هزینه ثابت مجاز است.

۶) قابلیت هر نوع ماشین معین و جهت تأمین احتیاجات ظرفیت، تکرار ماشین‌ها مجاز است.

۷) توالی عملیات موردنیاز برای پردازش هر قطعه معلوم و ثابت است.

۸) هر قطعه می‌تواند با زمان‌های متفاوت روی ماشین‌های مختلف (در صورتی‌که تجهیزات لازم موجود باشد) تولید شود.

۱-۵- نوآوری تحقیق

بررسی تأثیر اهداف برنامه‌ریزی تولید در مراحل پیاده‌سازی DCMS، یک مسأله کاربردی بوده که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. وجود شرایط پویایی در این مسأله‌ی یکپارچه، مستلزم در نظر گرفتن اهداف متضادی در طراحی سلول است. با توجه به این اهداف متضاد، یک مسأله چندهدفه تشکیل می‌شود. بنابراین در این تحقیق یک مدل جامع جهت تشکیل سلول تولیدی پویا با اهداف سه‌گانه که مرتبط با برنامه‌ریزی تولید، بالانس بارکاری بین سلولی و بالانس بارکاری ماشین‌آلات در سیستم ارایه می‌شود.

تأکید مدل پیشنهادی بر حداقل‌سازی هزینه‌ها، کاهش نگهداری موجودی و محاسبه صحیح هزینه استقرار مجدد و تولید داخلی و همچنین ایجاد موازنه بین هزینه‌های تولید داخلی و برون‌سپاری قطعات با رویکرد چندهدفه است. در این تحقیق از روش بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه[1] ابتکاری (MOPSO-CD) جهت حل مدل پیشنهادی استفاده می‌شود. همچنین جهت

[1] Multi-objective Particle Swarm Optimization

بررسی کارایی روش پیشنهادی، این روش با روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه شناخته شده دیگر مقایسه می‌شود.

۱-۶- ساختار تحقیق

در ادامه این تحقیق، در فصل ۲ به بررسی انواع سیستم‌های تولید سلولی، مزایا و معایب آن و مرور کارهای گذشته در زمینه این تحقیق پرداخته می‌شود. در فصل ۳ اهداف، مفروضات و محدودیت‌های مدل ریاضی پیشنهادی ارایه می‌شود. سپس نحوه خطی‌سازی مدل پیشنهادی جهت کاهش زمان حل در نرم‌افزارهای بهینه‌سازی ارایه و در نهایت یک مثال عددی با اندازه کوچک با استفاده از نرم‌افزار LINGO 8.0 حل می‌شود.

در فصل ۴ دو الگوریتم تک‌هدفه‌ی PSO و GA-PSO پیشنهادی و سپس الگوریتم‌های چندهدفه MOPSO و MOPSO-CD پیشنهادی و الگوریتم NSGA-II استاندارد، معرفی می‌شود. در فصل ۵ ابتدا مدل تک‌هدفه با استفاده از نرم‌افزار LINGO 8.0 برای مسایل با اندازه کوچک و با استفاده از PSO و GA-PSO برای مسایل بزرگ حل می‌شود. سپس الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB 7.8 برنامه‌نویسی و نتایج حل مدل پیشنهادی برای مسایل با اندازه‌های مختلف با استفاده از این الگوریتم‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود. نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادات آتی نیز در فصل ۶ آورده می‌شود.

فصل دوم

مبانی نظری و پیشینه تحقیق