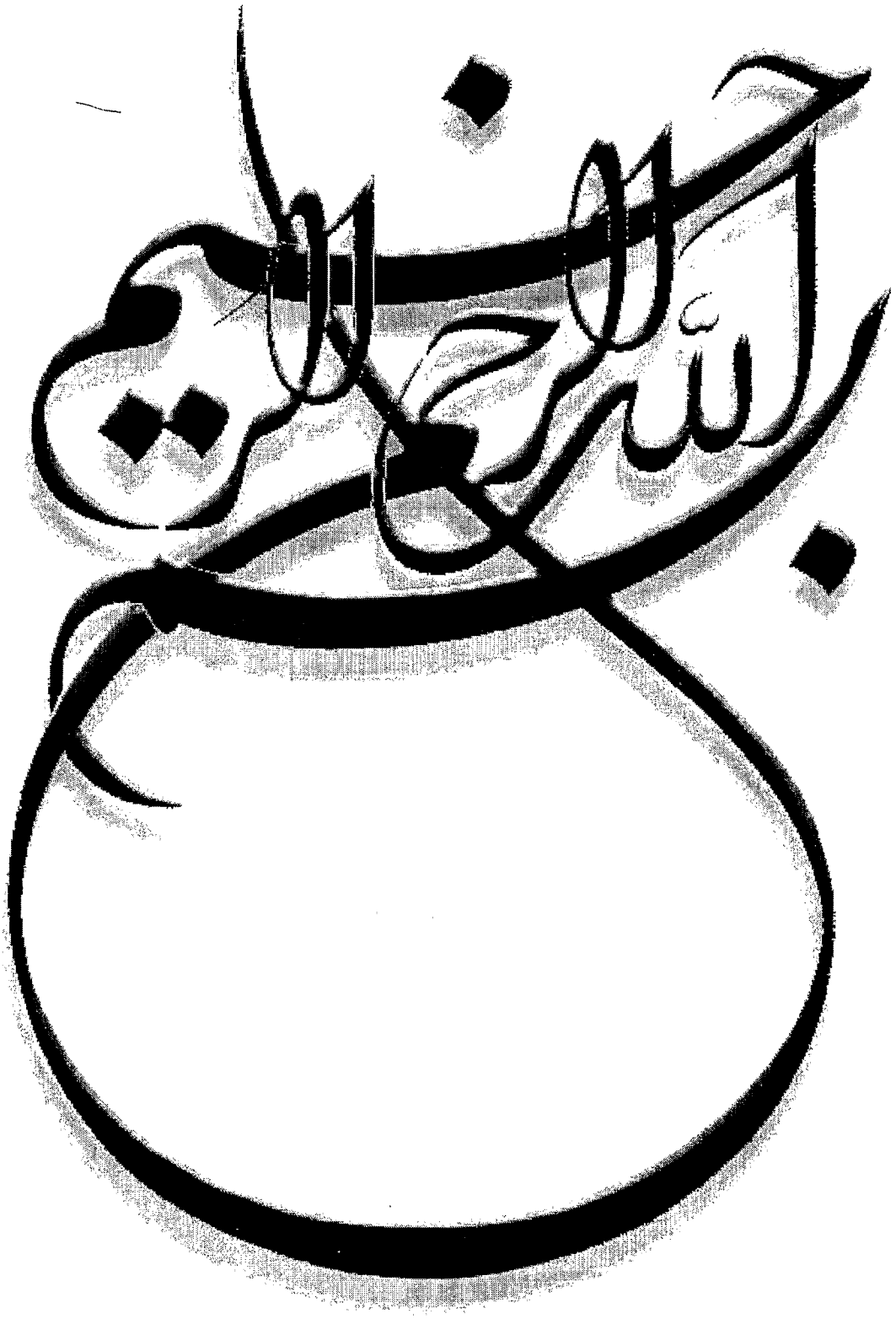

١١١٨٨٩

دانشگاه علوم و فنون مازندران
گروه مهندسی صنایع

طراحی یک مدل جدید ریاضی برای مسائل تولید سلولی بر اساس کارآیی سلول ها و حل آن به کمک یک الگوریتم فراابتکاری

دانشجو:
کاوه فلاح علی پور

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته:
مهندسی صنایع -مهندسی صنایع

استاد راهنما:
دکتر ایرج مهدوی

استاد مشاور:
دکتر محمدعلی شفیعا

۱۳۸۸ /۲/ ۰۵

شهریورماه ۱۳۸۶

۱۱۱۸۸۹

در پرده اسرار کسی را ره نیست

زین تعبیه جان هیچکس آگه نیست

جز در دل خاک هیچ منزلگه نیست

می خور که چنین فسانه‌ها کوته نیست

اندیشمند قرن ششم ه.ق. خیام

پیشکش به نخستین معلمان زندگیم

پدر و مادرم

و نیز

کامران عزیزم

با قدردانی و سپاس فراوان از کلیه اساتید محترم و دوستان عزیزی که در تکمیل این تحقیق مرا یاری نمودند:

۱- آقای دکتر **ایرج مهدوی**
- بعنوان استاد راهنما و کمک اصلی و دلگرمی دهنده در چاپ مقاله در نشریات ISI.

۲- آقای دکتر **محمدعلی شفیعا**
- بعنوان استاد مشاور و فردی که از آغاز زندگی صنایعی سعادت آشنایی و تلمذ ایشان به عنوان امتیازی برای من وجود داشته است.

۳- آقای مهندس **مهدی پیرمحمدی**
- دوست قدیمی و مشوق همیشگی که در ترتیب‌بندی و رفع نواقص قبول زحمت فرمودند.

۴- آقای مهندس **علیرضا کریمی**
- دوست و همکار، که از نظرات پرمایه‌اش همواره بهره‌مند شده‌ام.

۵- آقای مهندس **بابک جوادی**
- دوست گرامی و همراه در تمامی مراحل چاپ مقاله.

۶- آقای **مقداد جهرمی**
- دوست گرامی و یاری دهنده در توسعه برنامه فراابتکاری.

۷- آقای **کامران فلاح‌علی‌پور**
- برادر عزیزم، که در ورود اطلاعات به کامپیوتر و نیز آنالیز دستیارم بودند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۱
واژگان کلیدی	۱
فصل ۱ - کلیات تحقیق	۲
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- مساله تولید سلولی	۳
۱-۳- اهداف تحقیق	۵
۱-۴- لزوم استفاده از رویکرد فراابتکاری	۵
۱-۵- سایر فصول	۶
فصل ۲ - ادبیات موضوع	۸
۲ -۱- مقدمه	۹
۲-۲- ادبیات موضوع	۹
۲-۳- نتیجه‌گیری	۱۳
فصل ۳ - مدل پیشنهادی	۱۶
۳-۱- مقدمه	۱۷
۳-۲- تشکیل خانواده قطعات و ماشین‌ها	۱۷
۳-۲-۱- مفروضات مدل	۱۷
۳-۲-۲- تابع هدف مدل	۱۸

۳-۲-۳- زیر نویس‌های مدل ۱۸
۳-۲-۴- ورودی‌های مدل ۱۹
۳-۲-۵- متغیرهای تصمیم مدل ۱۹
۳-۲-۶- سایر علائم مدل ریاضی ۲۰
۳-۲-۷- مدل ریاضی پیشنهادی ۲۰
۳-۲-۸- تشریح جزییات و عملکرد مدل ۲۱
۳-۳- خطی‌سازی مدل پیشنهادی ۲۳
۳-۴- نتیجه‌گیری ۲۴

فصل ٤ ارایه الگوریتم شبیه سازی تبرید ۲۶
۴-۱- مقدمه ۲۷
۴-۲- معرفی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۲۷
۴-۳- گام‌های الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۳۰
۴-۴- اجزاء و پارامترهای الگوریتم شبیه‌سازی جهت حل مدل تشکیل ماشین-سلول‌ها و خانواده قطعات پیشنهادی ۳۱
۴-۴-۱- نمایش ساختار جواب ۳۲
۴-۴-۲- انتخاب جواب اولیه ۳۳
۴-۴-۳- مکانیزم ایجاد جواب همسایه ۳۳
۴-۴-۴- انتخاب دمای اولیه ۳۴
۴-۴-۵- مکانیزم کاهش دما ۳۵
۴-۴-۶- طول زنجیره مارکوف ۳۵
۴-۴-۷- مکانیزم پذیرش جواب‌های نامزد شده ۳۶
۴-۴-۸- معیار توقف الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۳۶
۴-۵- نتیجه‌گیری ۳۷

فصل ۵ ▯ نتایج محاسباتی ۳۸

۵-۱- مقدمه ۳۹

۵-۲- مقایسه کارآیی مدل حاضر نسبت به مدل‌های قبلی ۳۹

۵-۳- نتایج محاسباتی رویکرد شبیه‌سازی تبرید توسعه یافته ۴۵

۵-۴- تحلیل نتایج بدست آمده از رویکرد شبیه‌سازی تبرید ۴۷

۵-۵- نتیجه‌گیری ۵۰

فصل ٦- نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی ۵۱

۶-۱- نتیجه‌گیری ۵۲

۶-۲- تحقیقات آتی ۵۳

منابع و مراجع ۵۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
۲-۱- خصوصیات و مسایل تولیدی رایج در مساله سیستم‌های تولید سلولی	۱۳
۳-۱- جدول متغیر خطی‌سازی	۲۴
۵-۱- مثال(۱)، ماتریس روابط ماشین-قطعه برای مساله ۶*۶	۳۹
۵-۲- مثال(۲)، ماتریس روابط ماشین-قطعه برای مساله ۱۰*۱۰	۳۹
۵-۳- پارامترهای در نظر گرفته شده جهت حل مثال جداول ۵-۱ و ۵-۲	۴۰
۵-۴(a)- نتیجه حل مثال۱ توسطART بدون معکوس کرئن ۰ و ۱ ها	۴۰
۵-۴(b)- نتیجه حل مثال۱ توسط ART با معکوس نمودن ۰ و ۱ ها	۴۰
۵-۵- نتیجه حل مثال۱ توسط الگوریتم شبکه گراف عصبی	۴۱
۵-۶- نتیجه حل مثال۱ توسط مدل حاضر با لینگو ۸,۰	۴۱
۵-۷- نتیجه حل مثال ۲ توسط الگوریتم ART	۴۱
۵-۸- نتیجه حل مثال ۲ توسط الگوریتم شبکه گراف عصبی	۴۲
۵-۹- نتیجه حل مثال ۲ حل مثال۱ توسط مدل حاضر با لینگو ۸,۰	۴۲
۵-۱۰- مقایسه درصد کارآیی سلول‌های مختلف سه الگوریتم با مدل حاضر جهت مثال ۱	۴۳
۵-۱۱- مقایسه EE و Void سه الگوریتم با مدل حاضر جهت مثال ۱	۴۳
۵-۱۲- مقایسه درصد کارآیی سلول‌های مختلف سه الگوریتم با مدل حاضر جهت مثال ۲	۴۳
۵-۱۳- مقایسه EE و Void سه الگوریتم با مدل حاضر جهت مثال ۲	۴۴
۵-۱۴- جدول ورودی‌ها و ابعاد جهت حل با شبیه سازی تبرید و لینگو	۴۵
۵-۱۵- جدول ورودی‌های SA	۴۷
۵-۱۶- جدول ورودی‌ها و ابعاد جهت حل با SA و لینگو	۴۸
۶-۱- مفاهیم قابل ترکیب با کارآیی سلولی جهت تحقیقات آتی	۵۴

فهرست نمودارها و اشکال

عنوان	صفحه
۴-۱- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بطور شماتیک	۲۹
۴-۲- ماتریس یک، نحوه نمایش جواب(قطعه-سلول)	۳۲
۴-۳- ماتریس دو، نحوه نمایش جواب(ماشین-سلول)	۳۳
۵-۱۷- مقایسه Z_{best} با F_{best} و F_{bound}	۴۹
۵-۱۸- مقایسه زمان SA و زمان B&B	۴۹

فهرست ضمایم

عنوان

ضمیمه A- برنامه نوشته شده در لینگو

ضمیمه B- نمونه‌ای از خروجی‌های لینگو برای مثال ۳×۸×۲۰

ضمیمه C- نمونه‌ای از خروجی‌های الگوریتم SA طراحی شده برای مثال ۸×۲۵×۴۰

ضمیمه D- واژه‌نامه پایان‌نامه

ضمیمه E- اصل مقاله چاپ شده در نشریه Applied Mathematics & Computation

چکیده

سیستم تولید سلولی[1] یک روش تولیدی است که با هدف افزایش بازده تولید و نیز انعطاف‌پذیری آن بوسیله شباهت فرآیند تولید قطعات عمل کرده، شامل گروه‌بندی قطعات شبیه به هم با قرار دادن ماشین‌های مورد نیاز آنها در یک سلول می‌شود. در این پایان‌نامه مدل جهت تشکیل سلول تولیدی در مسایل تولید سلولی بر اساس مفهوم جدیدی از کارآیی ارایه شده است، که به حداقل‌سازی یک‌های خارج از سلول[2] و صفرهای درون هر سلول[3] پرداخته و منجر به افزایش عملکرد سلول تولیدی می‌گردد. برای نمایش اطمینان از صحت عملکرد مدل، طیفی از مسایل به تصویرکشیده شده‌اند. مسایل کوچک با نرم افزار لینگو قابل حل است، اما زمانیکه مساله دارای تعداد زیادی قطعه و ماشین باشد به یک مساله با ابعاد بزرگ[4] تبدیل می‌شود. این نوع مسائل با رایانه‌های معمولی در مدت زمان معقول و مناسب قابل حل نمی‌باشند بنابراین الگوریتم‌های فراابتکاری[5] می‌توانند روش‌های خوبی برای حل این مسائل باشند، که در این پایان‌نامه سعی به حل مساله با یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری شده است.

واژگان کلیدی :

تولید سلولی، مدل‌های ریاضی، کارآیی سلول، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید[6].

[1] Cellular Manufacturing System
[2] Exceptional Elements
[3] Voids
[4] Large Scale Problems
[5] Meta Heuristic
[6] Simulated Annealing

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

افزایش رقابت، کاهش عمر محصولات و افزایش تنوع آنها، شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی را بر آن داشته است که درجهت کاهش هرچه بیشتر هزینه‌های خود و نیز افزایش بهره‌برداری از فضا و ماشین‌آلات صنعتی، از رویکردهای جدید و کارآ در بخش‌های تهیه، تولید و توزیع استفاده نمایند. به عنوان نمونه سیستم‌های تولید سلولی و انعطاف پذیر گواه نیاز به چنین رویکردهایی هستند. قسمت اعظم هزینه‌های یک واحد صنعتی، مربوط به بخش تولید آن می‌باشد. در این بخش، استفاده مؤثر از ظرفیت تسهیلات، افزایش بهره‌وری نیروی کار، استفاده از سیستم‌های خودکارسازی و رباتیک جهت افزایش کیفیت و نرخ تولید، کاهش سطح موجودی، کاهش حجم حمل و نقل مواد و افزایش انعطاف‌پذیری از جمله اهدافی می‌باشند که امروزه اکثر واحدهای صنعتی سعی در دستیابی به آنها دارند[2]. جهت دستیابی به اهداف فوق تاکنون سیستم های متنوع تولیدی همانند تولید کارگاهی[۱]، تولید محصولی[۲]، تولید انبوه[۳]، تولید دسته‌ای[۴]، تولید سلولی[۵]، تولید سلولی مجازی[۶] و سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر[۷] معرفی شده‌اند که هریک دارای مزایای و معایب خاص خود می‌باشند.

تلاش صورت گرفته در این تحقیق نیز جهت افزایش بهره‌وری سلول‌های تولیدی در سیستم‌های تولید سلولی صورت پذیرفته است. که به بحث کارآیی با نگاهی ویژه توجه شده است.

۱-۲- مساله تولید سلولی[۸]

فناوری گروهی[۹]، فلسفه‌ای است که سعی در ایجاد گروهی از قطعات با طراحی مشابه یا خصوصیات مشابه و یا هردو با هم را دارد. این نوع تولید می‌تواند بعنوان کاربردی از فناوری گروهی تعریف شود که شامل گروه‌بندی ماشین‌ها بر اساس قطعاتی که به توسط آن‌ها تولید می‌شوند، است. هدف اصلی تولید سلولی

[1] Job Shop Production
[2] Flow Shop
[3] Mass production
[4] Batch Production
[5] Cellular Manufacturing System
[6] Virtual Cellular Manufacturing System
[7] Flexible Manufacturing System
[8] Cellular Manufacturing
[9] Group Technology

شناخت همزمان ماشین–سلول‌ها[1] و خانواده قطعات[2] و تخصیص خانواده قطعات با عملیات مشابه به ماشین–سلول‌ها است تا حرکات بین سلولی حداقل گردد[1,2].

بمنظور پیاده‌سازی موفق مفهوم تولید سلولی، تحلیلگر می‌بایست طرح چیدمان ماشین‌ها در سلول‌ها را گسترش دهد تا حمل و نقل درون و برون سلولی حداقل گردد. مفهوم تولید سلولی اخیرا در بسیاری از محیط‌های تولیدی بطور موفقیت‌آمیزی بکار گرفته شده است و مزیت‌های فراوانی را بدست داده است. شرکت‌هایی که توسط ومرلو و هایر[3] در سال ۱۹۸۹ بررسی شدند شاهد این نتایج‌اند[2,3].

- کاهش زمان شروع[4]
- کاهش کار در جریان ساخت[5]
- کاهش هزینه حمل و نقل مواد
- بهبود کیفیت
- بهبود جریان مواد
- بهبود بهره‌برداری از ماشین‌ها
- بهبود بهره‌برداری از فضا
- بهبود روحیه کارکنان

تفاوت اصلی بین محیط تولید کارگاهی سنتی و سلول تولیدی در گروه‌بندی و طرح چیدمان[6] ماشین‌ها است. در محیط تولید کارگاهی ماشین‌ها بر اساس شباهت در نوع عملکرد آنان گروه‌بندی می‌شوند، در حالی که در محیط تولید سلولی، ماشین‌ها در سلول‌هایی که خانواده مشخصی از قطعات را تولید می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند. عموما در تولید سلولی ماشین‌های درون یک سلول تولیدی عملکردهای غیرمشابهی دارند. تولید سلولی قدرت کنترل آسانتری در سیستم‌های تولید سلولی را بدست می‌دهد[2].

[1] Machine-Cells
[2] Part Family
[3] Wemmerlov & Hyer
[4] Setup Time
[5] Work –in-Process
[6] Layout

۱-۳- اهداف تحقیق

همانطور در بخش‌های ۱-۱ و ۱-۲ تشریح گردید عموما در حل مسایل تولید سلولی به دنبال کاهش گلوگاه[1] هستند، که بدین منظور حداقل کردن عوامل غیر صفر در خارج از سلول تولیدی[2] مد نظر قرار می‌گیرد.

علاوه بر این، حداقل نمودن تعداد عوامل غیر صفر در خارج از سلول‌ها، گاهی با حداقل کردن تعداد صفرهای درون سلولی[3] نیز قابل دسترسی می‌باشد[2]، که در این تحقیق از آن بهره گرفته شده است.

بمنظور بهره‌برداری بالاتر از سلول‌ها و ماشین‌ها مفهوم کارایی سلول‌ها[4] نیز وارد مدل شده و در واقع نوآوری مدل را رقم زده است که در راستای حداقل نمایی تعداد صفرهای درون سلولی می‌باشد.

۱-٤- لزوم استفاده از رویکرد فراابتکاری

مسأله تشکیل خانواده ماشین-سلول در تولید سلولی، آن هم در مدلی غیرخطی و با در نظر گرفتن کارایی سلول‌ها، پیچیدگی مسأله را دوچندان می‌نماید، بطوریکه حل آن توسط رویکردهای دقیق و در ابعاد واقعی عملاً امکان‌پذیر نبوده و در نتیجه استفاده از رویکردهای نوین و فراابتکاری و البته غیردقیق را طلب می‌کند که الگوریتم شبیه‌سازی هیبرید در این تحقیق توسعه داده شده است. امروزه با پیچیده تر شدن مسایل بهینه‌سازی ترکیباتی[5]، تمایل به جواب‌های نزدیک به بهینه افزایش یافته است، چرا که حتی جواب‌های بهینه نیز ممکن است مطلوب تصمیم گیرنده نباشند، زیرا باز هم بسیاری از پارامترهای دنیای واقعی در مسأله لحاظ نشده است.

امروزه گرایش به رویکردهای محاسباتی بر گرفته شده از پدیده‌های طبیعی و فیزیکی مانند الگوریتم‌های مبتنی بر محاسبات تکاملی و جمعیت شامل الگوریتم ژنتیک[6]، الگوریتم ممتیک[7]، جستجوی

[1] Bottleneck
[2] Exception Elements
[3] Voids
[4] Cell Utilization
[5] Mix Optimization
[6] Genetic Algorithms
[7] Memetic Algorithm

پراکنده[1] و سیستم‌های ایمنی[2]، الگوریتم‌های مبتنی بر جستجوی همسایگی، بازپخت شبیه‌سازی شده[3]، الگوریتم مورچگان[4]، جستجوی ممنوع[5] و الگوریتم های مبتنی بر هوش مصنوعی توزیع شده همانند شبکه های عصبی مصنوعی[6] و سیستم‌های چند عاملی[7] افزایش زیادی یافته است. مزیت بزرگ رویکردهای فوق که به رویکردهای فراابتکاری نیز شهرت دارند، عدم حساسیت فزآینده به بزرگی و پیچیدگی مسأله می‌باشد، بطوریکه افزایش قدرت سخت افزارها منجر به استفاده روزافزون از این رویکردها جهت حل مسایل پیچیده بهینه‌سازی در ابعاد دنیای واقعی شده است. رویکردهای فراابتکاری در زمره رویکردهای غیردقیق[8] دسته‌بندی می‌شوند، زیرا تضمینی جهت رسیدن به جواب بهینه نمی دهند ولی با طراحی مناسب و البته تجربی، قابلیت دستیابی به جواب‌های تقریباً بهینه را دارند.

در این تحقیق، برای نخستین بار، یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی جهت مواجه با مسأله چیدمان درون سلولی با مفهوم کارآیی سلولی، ارایه شده است و همچنین کاربرد این الگوریتم برای این مساله مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هدف کمینه سازی تعداد صفرهای درون سلولی در تشخیص ماشین-سلول‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های کارایی خاص برای هر سلول می‌باشد.

۱-۵- سایر فصول

سایر فصول تحقیق شامل مطالبی به شرح زیر می‌باشند. در فصل دوم مروری بر ادبیات موضوع پیرامون مساله تشکیل سلول‌های تولیدی آورده شده است. تعریف و مدلسازی مسأله و مدل جدید در فصل سوم بحث و بررسی شده است، که شامل خود مدل ریاضی، تشریح محدودیت‌ها متغیرهای تصمیم، زیرنویس‌ها و ورودی‌ها است.

در فصل چهارم به تشریح الگوریتم فراابتکاری پرداخته شده است و در خصوص ابتکارات و کارکردهای لحاظ شده و پارامترهای الگوریتم توضیحات مبسوط آمده است.

[1] Scatter Search
[2] Immune Systems
[3] Simulated Annealing
[4] Ant Colony
[5] Tabu Search
[6] Artificial Neural Networks
[7] Multi-agent Systems
[8] Non-Exact

نتایج محاسباتی در فصل پنجم تجزیه و تحلیل شده است و مسایلی از گذشته و مقالات ادبیات موضوع حل شده است و کارآیی مدل و نیز الگوریتم فرا ابتکاری مورد مقایسه قرار گرفته است.

سرانجام، در فصل ششم به نتیجه‌گیری کلی و ارایه پیشنهادات برای تحقیقات آتی و زمینه‌های گسترش مدل پرداخته شده است که زمینه خوبی برای فعالیت سایر محققین فراهم شده است.

برنامه نوشته شده در نرم‌افزار لینگو مطلبی است که در ضمیمه A آورده شده است. نمونه‌ای از خروجی‌های نرم‌افزار لینگو در ضمیمه B گنجانده شده است. ضمیمه C شامل نمونه‌ای از خروجی‌های الگوریتم شبیه‌سازی تبرید است. واژه‌نامه‌ای برای لغات و اصطلاحات این پایان‌نامه تهیه شده که در ضمیمه D آورده شده است. نهایتا اصل مقاله چاپ شده نیز در ضمیمه E جهت استحضار آورده شده است.

فصل دوم

ادبیات موضوع

۲-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی سایر تحقیقات و فعالیت‌های صورت گرفته در زمینه این تحقیق به ترتیب تاریخی پرداخته می‌شود. سیر منطقی گسترش این بخش از مسایل تولید سلولی بررسی شده و نهایتا در قسمت نتیجه‌گیری، نوآوری و جایگاه این تحقیق در قبل از سایر تحقیقات ترسیم و تشریح می‌گردد. باشد که این تحقیق زمینه‌ای برای رشد و ارتقاء دانش تولید سلولی در عمل مفید واقع گردد که محقق را آرزویی جز این نیست.

۲-۲- ادبیات موضوع

فناوری گروهی فلسفه تولیدی است که در دهه ۱۹۴۰ در روسیه، جهت بهبود بهره‌وری در سیستم‌های تولید دسته‌ای ظهور کرد. ساخت دسته‌ای[1] رایج‌ترین نوع تولید محسوب می‌شود که روز به روز بیشتر و بیشتر احساس می‌شود[4].

از طرفی فناوری گروهی نخستین بار توسط میتروفانو[2] در سال ۱۹۶۶ ارائه شد[1] و توسط باریج[3] در سال ۱۹۷۱ انتشار یافت که ناشر روش‌های مناسبی را جهت محاسبات دستی در این زمینه توسعه و گسترش داد[5].

آنچه در سال ۱۹۷۳ توسط کاری[4] مطرح شد اینکه؛ فناوری گروهی برای سیستم تولیدی دسته‌ای، جایی که تعداد زیادی از قطعات مختلف با حجم تولید کم و دسته‌های کوچک تولیدی مورد پردازش قرار می گیرند، بهترین و مناسب‌ترین روش محسوب می‌شود، این روش شامل گروه‌بندی قطعات در خانواده آنان و ماشین‌ها در سلول-ماشین‌ها می‌شود. نتیجه اینکه خانواده قطعات می‌توانند توسط ماشین-سلول مشخصی تولید شوند که مساله موردنظر، تشخیص گروه ماشین‌ها و خانواده قطعات "شکل‌دهی ماشین-سلول‌ها"[5] و یا "گروه‌بندی ماشین-قطعات"[6] نیز نامیده شده اند[6].

---

[1] Batch Manufacturing
[2] Mitrofanov
[3] Buridge
[4] Carrie
[5] Machine-Cell Formation(MCF)
[6] Machine-Component Grouping(MCG)