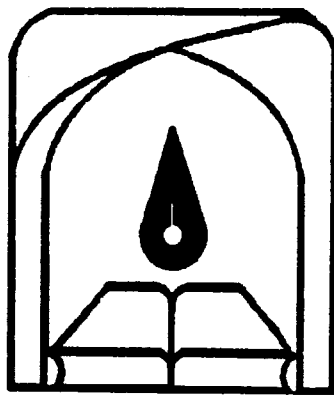


بِسْمِ  
اللَّهِ  
الرَّحْمَنِ  
الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

7535

رساله دوره دکترای مهندسی صنایع

کمیته سازی مجموع پیشینه های زودکرد و دیرکرد در

مسائل Flow Shop

توسط:

قاسم مصلحی

استاد راهنما:

دکتر مجید امین نیری

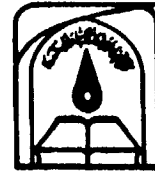
استادان مشاور:

دکتر محمد رضا امین ناصری

دکتر سید حسام الدین ذکردی

زمستان ۱۳۷۸

۳۰۹۹۴



## تاییدیه هیات داوران

آقای قاسم مصلحی رساله دکتری ۲۴ واحدی خود را با عنوان: کمیته سازی  
 بیشینه های زودکرد و دیرکرد در مسائل Flow shop در تاریخ ۷۸/۱۲/۹ ارائه کردند.  
 اعضای هیات داوران نسخه نهائی این رساله را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای  
 تکمیل درجه دکتری مهندسی صنایع باگرایش - پیشنهاد می کنند. ۱۱ ب ۲۶

### اعضای هیات داوران

۱- استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی

آقای دکتر امین نیری

۲- استادان مشاور:

آقای دکتر امین ناصری

آقای دکتر ذگری

۳- استادان متحن:

آقای دکتر سپهری

آقای دکتر معماریانی

آقای دکتر امامی زاده

آقای دکتر فاطمی قمی

آقای دکتر البدوی

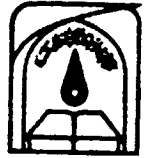
۴- مدیر گروه:

(یا نماینده گروه تخصصی)

امضاء

این تسمبه به دستور انجمن است. این رساله در تاریخ ۱۱/۱۲/۹۸ ارائه شده است.

اعضای هیات داوران:



بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی صنایع است که در سال ۷۸ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر اسین نیری، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر محمد رضا اسین ناصری و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر سید حسام الدین ذکری دفاع شده است.»

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب تاسم مصلحی دانشجوی رشته مهندسی صنایع مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: تاسم مصلحی

تاریخ و امضا: مصلحی  
۷۸، ۱۲، ۹

تقدیم به :

پدر و مادرم

تقدیم به :

همسرم که با تلاش بیدریغ و تحمل زحمات فراوان ،  
نقش عمده ای در حل مشکلات این دوران و به ثمر  
رساندن تحصیلات دانشگاهیم ایفاد نمود.

تقدیم به :

فرزندان عزیزم

## تشکر و قدردانی

"به درگاه کبریا و عظمت پروردگار، سپاس و ستایش می‌گزارم که ذات لایزالش ازلیست و ازلیت بی‌ابتدایش لایزال و جاویدان است... کائنات را با اراده خویشتن به سیر و سفر واداشت و هدف خلقت را محبت ذات اقدس خود قرار داد."

(صحیفه سجاده)

بر خود لازم می‌دانم که از استاد ارجمند جناب آقای دکتر مجید امین نیری که در طی مراحل مختلف رساله، از راهنماییهای ایشان بهره برده‌ام، صمیمانه تشکر نمایم و همت والای ایشان را، در جهت رفع موانع و پیشبرد اهداف عالی، بستایم.

همچنین از اساتید گرامی جناب آقای دکتر امین ناصری و جناب آقای دکتر ذگردی که با حضور در جلسات متعدد، راهنماییهای ارزشمندی را ارائه نمودند، تشکر نمایم.

قاسم مصلحی

زمستان ۷۸

## چکیده:

مسئله تعیین توالی مجموعه‌ای از کارها با معیار کمینه سازی مجموع بیشینه های زودکرد و دیرکرد مورد بررسی قرار گرفته است. این معیار به دلیل سعی در حداقل کردن و به صفر رساندن مقادیر زودکرد و دیرکرد دار، منطبق بر سیستم‌های تولیدی مختلفی از جمله JIT می‌باشد. این معیار در مسائل یک ماشین و  $n$  کار ( $n/1//ET_{max}$ ) و مسائل  $m$  ماشین و  $n$  کار با حالت Flow Shop، مورد بررسی قرار گرفته است.

حالت‌های خاص مسائل  $n/1//ET_{max}$  بررسی شده و جواب بهینه آنها با ترتیب‌های ساده ارائه شده است. برای حالت کلی یک ماشین و  $n$  کار، شرایط همسایگی موثری توسعه داده شده و مجموعه غالب، برای جواب بهینه مشخص شده است. همچنین روش بهینه شاخه و کرانه برای این معیار در حالت  $n/1//ET_{max}$  به کار گرفته شده است. ارائه حدود بالا و پایین قوی موجب شده که در روش شاخه و کرانه، بسیاری از مسائل در مدت زمان‌های کوتاه به جواب بهینه برسند. در حالت یک ماشین، ۷۲۰ مسئله در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ به صورت تصادفی تولید شده و از این مجموعه ۷۱۹ مسئله به صورت بهینه حل شده است. محدوده این مسائل از ۵ کار تا ۱۰۰ کار بوده و کارایی الگوریتم پیشنهادی در آنها نشان داده شده است.

در مسائل Flow Shop چندین روش توسعه داده شده است. دو روش ابتکاری سریع به نام‌های H1 و H2 با هدف یافتن جواب مناسب در مدت زمان کوتاه ارائه گردیده است. روش بهینه شاخه و کرانه نیز برای مسائل  $n/m/P/ET_{max}$  به کار گرفته شده است. ارائه حدود بالا و پایین مناسب، دلیل به دست آمدن جواب بهینه در بسیاری از مسائل می‌باشد. همچنین یک روش الگوریتم ژنی (GA) برای مسائل  $n/m/P/ET_{max}$  ارائه شده است. روش GA قادر بوده است که جواب بهینه بسیاری از مسائل را در مدت زمان کوتاه به دست آورده و در سایر موارد جواب‌های خوب ارائه دهد. برای مسائل  $n/m/P/ET_{max}$ ، ۴۰۰ مسئله در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ به صورت تصادفی تولید شده و از این مجموعه، جواب بهینه ۸۳٪ مسائل به وسیله روش شاخه و کرانه به دست آمده است. محدوده این مسائل از ۴ ماشین تا ۱۰۰ ماشین و ۴ کار تا ۵۰ کار می‌باشد.

کلید واژه: زمانبندی - توالی عملیات - شاخه و کرانه - زودکرد - دیرکرد - ابتکاری - الگوریتم ژنی

## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- اهمیت برنامه‌ریزی تولید	۱
۲-۱- انواع مسائل زمانبندی و تعیین توالی	۲
فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوعی و طرح مساله	
۱-۲- مقدمه	۵
۲-۲- مروری بر ادبیات موضوعی	۵
۳-۲- طرح مسئله و اهمیت آن	۱۵
۴-۲- نتیجه‌گیری	۱۸
فصل سوم: نمادها و قضایا	
۱-۳- مقدمه	۲۰
۲-۳- تعریف نمادهای عمومی	۲۰
۳-۳- یادآوری چند قضیه	۲۲
۴-۳- قضایای جدید	۲۴
۵-۳- نتیجه‌گیری	۶۰
فصل چهارم: روش حل مسایل $n/1//ET_{max}$	
۱-۴- مقدمه	۶۱
۲-۴- ترتیب استفاده از قضایا	۶۱
۳-۴- سیاستهای کاهش حجم محاسبات	۶۴
۴-۴- الگوریتم حل مسئله	۶۶
۵-۴- نتیجه‌گیری	۷۵



## ادامه فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل پنجم: حل مسائل $n // ET_{max}$ و نتیجه گیری	
۵-۱- مقدمه	۷۶
۵-۲- طراحی مسائل	۷۶
۵-۳- طراحی روش آزمون	۷۷
۵-۴- حل مسائل و نتایج محاسباتی	۷۸
۵-۵- نتیجه گیری	۸۶
فصل ششم: روشهای ابتکاری سریع حل مسائل $n/m/P/ET_{max}$	
۶-۱- مقدمه	۸۷
۶-۲- روش NEH	۸۷
۶-۳- روش H1	۸۸
۶-۴- روش H2	۸۹
۶-۵- طراحی مسائل	۸۹
۶-۶- طراحی روش آزمون	۹۱
۶-۷- حل مسائل و نتایج محاسباتی	۹۱
۶-۸- نتیجه گیری	۹۸
فصل هفتم: روش حل بهینه مسائل $n/m/P/ET_{max}$	
۷-۱- مقدمه	۹۹
۷-۲- حد پائین	۹۹
۷-۳- حد بالا	۱۰۰
۷-۴- سیاستهای کاهش حجم محاسبات	۱۰۰
۷-۵- الگوریتم بهینه حل مسائل $n/m/P/ET_{max}$	۱۰۱

## ادامه فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱۰۵	۶-۷- طراحی مسائل و روش آزمون
۱۰۵	۷-۷- حل مسائل و نتایج محاسباتی
۱۱۲	۸-۷- نتیجه گیری
<b>فصل هشتم: روش الگوریتم ژنی برای حل مسائل <math>n/m/P/ET_{max}</math></b>	
۱۱۵	۱-۸- مقدمه
۱۱۵	۲-۸- معرفی الگوریتم های ژنی
۱۱۶	۱-۲-۸- رشته برای نمایش مسئله
۱۱۶	۲-۲-۸- تابع برازندگی
۱۱۶	۳-۲-۸- اندازه جمعیت و تعداد تولید
۱۱۷	۴-۲-۸- عملگرهای ژنی و احتمال وقوع آنها
۱۱۷	۳-۸- بررسی پارامترهای الگوریتم ژنی برای مسئله $n/m/P/ET_{max}$
۱۱۷	۱-۳-۸- رشته برای نمایش مسئله
۱۱۷	۲-۳-۸- تابع برازندگی
۱۱۸	۳-۳-۸- اندازه جمعیت و تعداد تولید
۱۱۹	۴-۳-۸- عملگرهای ژنی و احتمال وقوع آنها
۱۲۳	۴-۸- ارائه الگوریتم ژنی برای مسئله $n/m/P/ET_{max}$
۱۲۶	۵-۸- حل مسائل و نتایج محاسباتی
۱۳۷	۶-۸- نتیجه گیری
<b>فصل نهم: خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات</b>	
۱۳۸	۱-۹- مقدمه
۱۳۸	۲-۹- خلاصه و نتایج مسائل $n/1//ET_{max}$

## ادامه فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱۳۹	۱-۲-۹- ارائه قضایا و جواب بهینه در حالت‌های خاص
۱۳۹	۲-۲-۹- ارائه قضایا و جواب بهینه در حالت عمومی
۱۳۹	۳-۲-۹- طراحی مسائل و نتایج محاسباتی
۱۴۰	۳-۹- خلاصه و نتایج مسائل $n.m/P/ET_{max}$
۱۴۰	۱-۳-۹- ارائه قضایا و جواب بهینه در حالت‌های خاص
۱۴۰	۲-۳-۹- طراحی مسائل
۱۴۰	۳-۳-۹- روش‌های ابتکاری
۱۴۰	۴-۳-۹- روش بهینه و نتایج محاسباتی
۱۴۱	۵-۳-۹- الگوریتم ژنی و نتایج محاسباتی
۱۴۱	۴-۹- پیشنهادات
۱۴۳	فهرست منابع و ماخذ
۱۵۱	واژه نامه فارسی - انگلیسی
۱۵۳	واژه نامه انگلیسی - فارسی
۱۵۵	چکیده انگلیسی

## فصل اول

### مقدمه

#### ۱-۱- اهمیت برنامه‌ریزی تولید

برنامه‌ریزی تولید یکی از فعالیتهای هر واحد تولیدی است. این فعالیت یا به صورت رسمی و یا غیر رسمی ممکن است انجام شود. در صورت رسمی بودن فعالیت ممکن است در چهارچوب مشخص همراه با شرح وظائف و اختیارات لازم باشد.

هدف برنامه‌ریزی تولید استفاده مناسب از سرمایه‌های یک کارخانه می‌باشد. این سرمایه‌ها که شامل نیروی انسانی، تجهیزات و موادخام بوده، سعی در استفاده بهینه از آنها می‌باشد. یکی از وظائف بسیار مهم برنامه‌ریزی تولید، تعیین توالی و زمانبندی قطعات بر روی ماشینها می‌باشد. در این راستا برنامه‌ریز، اقدام به تخصیص قطعات به ماشینها همراه با مشخص کردن زمان اجرای آنها، برای برآورده کردن اهداف خاصی، می‌کند. رسیدن به اهداف کلان یک واحد، کاملاً بستگی به تناسب داشتن برنامه‌های زمانبندی دارد.

همراه با انقلاب صنعتی و افزایش سریع ماشینها، برای تعیین توالی و زمانبندی قطعات، از نمودار گانت استفاده شد. این نمودار وضعیت کاری یک ماشین را در طول زمان مشخص می‌کند. نمودار گانت با گذشت زمان، کارائی خود را برای برنامه‌ریزی از دست داد و تنها به عنوان ابزار مناسبی برای نمایش یک برنامه زمانبندی به کار می‌رود. امروزه این برنامه‌ها از روشهای دیگر حاصل می‌گردد.

## ۱-۲- انواع مسائل زمانبندی و تعیین توالی

روشها و الگوریتمهایی که در گذشته برای تعیین توالی و زمانبندی قطعات به وجود آمد عمدتاً برای یک ماشین استفاده می‌شد. در بسیاری مواقع، استفاده از این الگوریتمها به نحو چشمگیری در افزایش کارایی مؤثر بوده است.

اگر تعداد ماشینها بیشتر از یکی باشد، برنامه‌ریزی مشکلتر شده و حالت‌های زیادی به وجود می‌آید. یکی از حالت‌های ممکن، تکرار ماشینهای مشابه است. بدین معنی که از یک نوع ماشین بیش از یکی وجود دارد. حالت دیگر، افزایش ماشینها به صورت غیرمشابه است که موجب پیچیدگی بیشتر مسئله می‌شود. در صورتی که تمام قطعات از ماشینها با ترتیب یکسان عبور کنند، به آن **Flow Shop** گفته می‌شود. اگر تمام قطعات از ماشینها عبور کرده ولی ترتیب آنها مشابه نباشد به آن **Job Shop** گفته می‌شود. معمولاً در عمل ترکیبی از حالت‌های فوق و حالت‌های دیگر وجود دارد. اما چون حالت‌های عادی به اندازه کافی مشکل هستند کمتر به حالت‌های پیچیده توجه شده است.

مشکلات تعیین توالی و زمانبندی قطعات در محیط‌های مختلف صنعتی یکسان نیست. در یک محیط صنعتی، استفاده مؤثر و کارا از ماشینها و بیکار نبودن آن مدنظر است. در محیط دیگر عمل کردن به قراردادهای در موعد مقرر مورد توجه است. بنابراین نمی‌توان تمام این اهداف را با یک نسخه واحد برآورده کرد. از اینرو اهداف متعدد و بعضاً رقیب مورد توجه واقع شده است و برای رسیدن به هر هدف نیز الگوریتمهایی ارائه گردیده است.

در یک محیط صنعتی اگر کاهش حجم قطعات یک ماشین مورد نظر باشد، باید ترتیبی از انجام قطعات را در نظر گرفت که متوسط مدت زمان در جریان ساخت را کاهش دهد. اگر موعد تحویل مهم باشد، باید کمینه کردن تعداد قطعات دیرکردار یا کمینه کردن متوسط دیرکرد، مورد توجه قرار گیرد. بنابراین مشخص کردن هدف در انتخاب نوع الگوریتم بسیار مهم است. چه بسا با تغییر هدف، امکان به دست آوردن جواب بهینه و یا حتی جواب نسبتاً خوب در زمان معقول ممکن نباشد.

امروزه در برنامه‌ریزیها یک هدف مطرح نبوده و اهداف چندگانه مورد توجه تصمیم‌گیرندگان

می‌باشد. یکی از اهداف چندگانه، کمینه کردن تعداد قطعات دیرکردار و کمینه کردن متوسط دیرکرد می‌باشد. از اینرو امروزه جهت و سمت کارهای بسیاری از محققین، ارائه الگوریتم‌هایی با اهداف چندگانه است. به عنوان مثال یکی از اهداف چندگانه جالب که توسط برخی از محققین تشخیص داده شده و با سیستم JIT<sup>1</sup> مطابقت دارد، کمینه کردن متوسط مقدار زودکرد و دیرکرد می‌باشد. بنابراین تشخیص اهداف مناسب و جدید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

الگوریتم‌های زمانبندی در موارد معدودی قادر هستند، جواب بهینه را در مدت زمان محدود و مناسب تولید نمایند و در اکثر مواقع الگوریتم‌های ارائه شده جواب خوب ارائه می‌دهند. معمولاً کارایی الگوریتم‌ها به اندازه مسأله و ساختار مسأله بستگی دارد. با گذشت زمان، الگوریتم‌های جدیدی به وجود آمده است که سعی می‌کنند نواقص الگوریتم‌های قبلی را رفع نمایند. یا در موارد خاص، جواب بهتری تولید نمایند. طبیعتاً تشخیص الگوریتم مناسب برای هر مسأله احتیاج به دقت و جستجو دارد. اصولاً به دلیل اینکه حل مسائل زمانبندی در اغلب موارد به صورت NP-hard بوده، ارائه الگوریتم‌های ابتکاری متعدد برای یک مسأله طبیعی می‌باشد.

در تولید مدرن امروزه، تعیین توالی و زمانبندی در سیستم‌های پیشرفته تولیدی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که ضرورت توجه به آن را دو چندان کرده است. اقتصادی بودن این سیستم‌ها مشروط به داشتن یک برنامه تعیین توالی و زمانبندی مناسب می‌باشد. حتی مسأله تعیین توالی قطعه (کار) به ماشین مفهوم عامتری به خود گرفته و از کار به فعالیت و از ماشین به منبع تبدیل می‌شود. این به دلیل گستردگی استفاده از بحث تعیین توالی و زمانبندی در اموری غیر از تولید می‌باشد.

در فصل دوم، مروری بر ادبیات موضوعی وجود دارد. همچنین، طرح مسئله و یک تابع هدف چندگانه جدید در این فصل ارائه خواهد شد. تعریف نمادها و ارائه قضایای جدید در فصل سوم خواهد آمد. روش حل بهینه مسائل بر روی یک ماشین در فصل چهارم وجود دارد. در فصل پنجم طراحی مسایل و روش تست ارائه می‌گردد. در این فصل نتایج حل مسائل یک ماشین ذکر شده

است. فصل ششم به روش‌های بتکاری سریع برای حل مسائل Flow Shop (بیش از یک ماشین) تخصیص داده شده است. در این فصل طراحی سنتی حل مسائل در یک ماشین مورد تجدید نظر قرار گرفته است. روش حل بهینه مسائل بیش از یک ماشین در فصل هفتم وجود دارد. در فصل هشتم روشی مبتنی بر الگوریتم ژنی برای حل مسائل بیش از یک ماشین ارائه شده است. فصل نهم در برگیرنده خلاصه و نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات جهت ادامه تحقیقات می‌باشد. در نهایت منابع و ماخذ آورده شده است.