



دانشکده: فنی و مهندسی

رساله دکتری رشته: مهندسی صنایع گرایش: صنایع

## عنوان رساله:

ارائه مدل برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی و زمانبندی تولید در صنایع فولاد (مطالعه موردی در

شرکت فولاد آلیاژی ایران)

نام دانشجو:

مهدی نخعی نژاد

استاد راهنما:

دکتر نسیم نهبانندی

شهریور ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای مهدی نخعی نژاد رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان ارائه مدل برنامه ریزی سفارشات ، موجودی و زمانبندی تولید در صنایع فولاد (مطالعه موردی در شرکت فولاد آلیاژ ایران) در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۴ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی صنایع - مهندسی صنایع پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر نسیم نهانودی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محمد اقدسی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر سید حسام الدین ذگردی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید کمال چهارسوقی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر عیسی نخعی کمال آبادی	استاد	
استاد ناظر	دکتر سید محمد تقی فاطمی قمی	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمدرضا اکبری جوکار	استاد	
استاد ناظر	دکتر عیسی نخعی کمال آبادی	استاد	

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب مهدی نخعی نژاد دانشجوی رشته مهندسی صنایع ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۸ مقطع دکتری دانشکده فنی و مهندسی متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان‌نامه/ رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم.»



امضا:

تاریخ: ۱۳۹۲/۶/۱۰

## 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 رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی صنایع است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم دکتر نسیم نهبانندی، مشاوره جناب آقای دکتر محمد اقدسی و مشاوره جناب آقای دکتر سید حسام الدین ذگردی از آن 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، تامین نماید.

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

نام و نام خانوادگی: مهدی نخعی نژاد



تاریخ و امضا: ۱۳۹۲/۶/۱۰



## رساله دکتری رشته: مهندسی صنایع گرایش: صنایع

### عنوان رساله:

ارائه مدل برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی و زمانبندی تولید در صنایع فولاد (مطالعه موردی در شرکت فولاد آلیاژی ایران)

نام دانشجو:

مهدی نخعی نژاد

استاد راهنما:

دکتر نسیم نهماوندی

استاد مشاور(اول):

دکتر محمد اقدسی

استاد مشاور(دوم):

دکتر سید حسام الدین ذگردی

تابستان ۹۲

تقدیم به:

خدایی که آفرید

پدرم به استواری کوه

مادرم به زلالی چشمه

همسرم به صمیمیت باران

و دخترم به طراوت شب‌نم

## تقدیر و تشکر:

اکنون که فراز دیگری از زندگی خود را پشت سر می‌گذارم در آستان پروردگار متعال سر بر سجده شکر می‌گذارم و بر حسب وظیفه و از باب «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» از کلیه افرادی که در تکمیل مراحل تحقیق و تهیه رساله به این حقیر کمک نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

از استاد با کمالات و شایسته، سرکار خانم دکتر نسیم نهاوندی که این تحقیق با راهنمایی‌های مدبرانه ایشان به بار نشست و همچنین استادیید فرزانه دکتر محمد اقدسی و دکتر سید حسام الدین ذگردی که زحمت مشاوره این تحقیق را متقبل شدند، کمال قدردانی و تشکر را دارم.

از دوست عزیزم دکتر هادی مختاری، که در طول تحصیل همواره همراه و یاور من بود نیز سپاسگذارم و امیدوارم همچون گذشته موفق و سربلند باشد.

از پرسنل زحمت کش شرکت فولاد آلیاژی ایران نیز مخصوصاً مهندس سید علی موسوی، رئیس واحد تحقیق و توسعه و همچنین مهندس ناصر زارع مدیر برنامه‌ریزی تولید و مهندس سعید میرحسینی، مدیر اسبق واحد برنامه‌ریزی تولید بابت همکاری‌هایشان کمال تشکر را دارم.



## چکیده

هدف کلی این تحقیق بهبود در صنایع فولاد از طریق تحویل به موقع سفارشات، کاهش موجودی و زمانبندی فرایندهای این صنعت می‌باشد. برای این منظور به برنامه‌ریزی سفارشات و همچنین برنامه‌ریزی موجودی پرداخته می‌شود و بر اساس نتایج بدست آمده، زمانبندی تولید در هر یک از واحدها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در صنایع فولاد، تولید بر اساس سفارشات مشتریان صورت می‌گیرد. برنامه‌ریزی تولید در این حالت شامل برنامه‌ریزی سفارشات و برنامه‌ریزی تولید روزانه می‌باشد. هدف از «برنامه‌ریزی سفارشات» تعیین زمان تکمیل هر فرایند از سفارشات بر اساس تاریخ تحویل، ظرفیت تولید و دیگر محدودیت‌های سیستم، به منظور حرکت روان خط تولید می‌باشد. «برنامه‌ریزی تولید روزانه» یا به عبارتی برنامه‌ریزی کارگاهی، شامل برنامه‌ریزی واحد فولاد سازی، برنامه‌ریزی اندازه کارها در ریخته‌گری و برنامه‌ریزی دسته نورد بر اساس برنامه سفارشات صادره و برنامه‌های فرایند تولید می‌باشد. در این رساله به عنوان گام نخست به ارائه مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی پرداخته می‌شود. در نظر گرفتن توأم برنامه‌ریزی سفارشات و برنامه‌ریزی موجودی در یک مدل از جمله نوآوری‌های قابل توجه این بخش از رساله می‌باشد. برنامه‌ریزی روزانه (زمانبندی) موردی است که در گام‌های دوم و سوم در قالب زمانبندی فولادسازی و زمانبندی نورد بدان پرداخته می‌شود.

مدل ارائه شده برای مسئله زمانبندی تولید در فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته در این رساله مدلی غیرخطی است که با راهکارهایی که بدان‌ها اشاره خواهد شد به مدل خطی ترکیبی عدد صحیح تبدیل خواهد شد. برای حل مدل نهایی زمانبندی فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته، روش ابتکاری بر پایه انشعاب و تحدید (شاخه و کران) ارائه شده است. این روش متناسب با ساختار مدل ارائه شده واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته، تنظیم گردیده است. نحوه طراحی این الگوریتم، کاهش ابعاد مدل، ارائه حد بالای مناسب، همچنین استفاده از استراتژی‌های متفاوت در شاخه‌زنی متناسب با ساختار مسئله زمانبندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته، این الگوریتم را متمایز ساخته است؛ به گونه‌ای که در بخش نتایج محاسباتی، این مطلب قابل مشاهده است.

در ادامه زمانبندی واحد نورد به صورت یک مدل ریاضی استخراج تا به کمک این مدل تعداد نوبت‌های نورد، بلوم‌ها و توالی بلوم‌هایی که در هر نوبت نورد قرار می‌گیرند و همچنین توالی نوبت‌های نورد مشخص شود. مدل ارائه شده برای واحد نورد نوع و میزان تولید هر کدام از بلوم‌هایی که در یک هفته می‌بایست تولید شود را از مدل برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی و پنجره زمانی در دسترس بودن بلوم‌ها را از مدل زمانبندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته دریافت می‌کند. در نهایت خروجی این مدل، زمانبندی و توالی بلوم‌ها به گونه‌ای است که هزینه نورد بلوم‌ها به حداقل مقدار ممکن برسد. جهت حل مدل زمانبندی واحد نورد سه الگوریتم پیشنهادی جهت حل مسئله زمانبندی واحد نورد پیشنهاد شده است. متدولوژی‌های توسعه داده شده برای حل این مسئله، در دو فاز طراحی شده‌اند. در فاز اول نوبت‌های شدنی نورد با تبدیل مسئله به زیر مسائلی به صورت مسئله کوتاه‌ترین مسیر با محدودیت منابع، شناسایی و در فاز دوم به کمک تکنیک یافتن کوتاه‌ترین مسیر، نوبت‌های مناسب نورد انتخاب و توالی آن‌ها تعیین می‌شود.

در مجموع با توجه به موارد اشاره شده در بالا می‌توان گفت، ارائه مدل ریاضی مساله برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی، زمانبندی واحد فولادسازی- ریخته‌گری پیوسته و زمانبندی واحد نورد در صنعت فولاد، با در نظر گرفتن محدودیت‌های کاربردی این صنعت و حل مدل‌های توسعه یافته با استفاده از روش‌های ابتکاری و نتیجه‌گیری از نتایج حل مدل جهت بهبود مدیریت جریان مواد در این صنعت و در نهایت لحاظ نمودن روابط بین مدل‌ها ارائه شده را می‌توان از نوآوری‌های این تحقیق دانست.

**کلمات کلیدی:** برنامه‌ریزی سفارشات، برنامه‌ریزی موجودی، زمانبندی تولید، فولادسازی، ریخته‌گری پیوسته،

نورد، تولید دسته‌ای، الگوریتم ژنتیک اصلاحی، الگوریتم شاخه و کران، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر

## فهرست

---

فصل اول: کلیات تحقیق.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- هدف از تحقیق و مساله تحقیق.....	۲
۳-۱- مسئله و مشکل صنعت فولاد.....	۳
۴-۱- سوالات تحقیق.....	۵
۵-۱- فرضیات تحقیق.....	۶
۶-۱- اهمیت موضوع.....	۷
۷-۱- نوآوری تحقیق.....	۸
۸-۱- نتیجه‌گیری.....	۱۱
فصل دوم: مرور ادبیات.....	۱۲
۱-۲- مقدمه.....	۱۳
۲-۲- بررسی تحقیقات صورت گرفته در سیستم‌های تولیدی فولاد.....	۱۳
۱-۲-۲- تحقیقات صورت گرفته در حوزه برنامه‌ریزی سفارشات فولاد.....	۱۴
۲-۲-۲- بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوزه زمانبندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته.....	۲۰
۳-۲-۲- بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوزه زمانبندی واحد نورد.....	۲۴
۳-۲- نتیجه‌گیری.....	۲۷
فصل سوم: معرفی صنعت مورد بررسی.....	۲۸
۱-۳- مقدمه.....	۲۹
۲-۳- معرفی صنعت مورد بررسی.....	۲۹
۳-۳- فولاد و فولادآلیاژی.....	۳۰
۱-۳-۳- فولادهای قابل تولید.....	۳۱
۴-۳- کارخانه ذوب فولادآلیاژی ایران.....	۳۴
۱-۴-۳- کوره قوس الکتریکی.....	۳۴
۲-۴-۳- متالورژی پاتیلی (متالورژی ثانویه).....	۳۷
۳-۴-۳- واحد گاززدایی در خلاء.....	۳۹
۱-۳-۴-۳- واحد کربن زدایی در خلا با تزریق اکسیژن.....	۴۰
۵-۳- ریخته‌گری.....	۴۰
۱-۵-۳- ریخته‌گری مداوم.....	۴۰
۲-۵-۳- واحدهای آماده‌سازی بلوم و شمش.....	۴۳
۶-۳- واحد نورد.....	۴۳

۴۶	.....۳-۶-۱- واحد نورد سنگین
۴۹	.....۳-۶-۲- واحد بازرسی بیلت
۴۹	.....۳-۶-۳- نورد سبک
۵۱	.....۳-۷- سیستم فروش محصولات در فولاد آلیاژی ایران
۵۹	.....۳-۸- نتیجه گیری
۶۰	<b>فصل چهارم: برنامه ریزی سفارشات - موجودی در صنعت فولاد</b>
۶۱	.....۴-۱- مقدمه
۶۲	.....۴-۲- ارائه مدل برنامه ریزی سفارشات - موجودی در صنعت فولاد آلیاژی
۶۶	.....۴-۲-۱- برنامه ریزی سفارشات در فولاد آلیاژی ایران
۶۹	.....۴-۲-۲- توسعه مدل ریاضی برنامه ریزی سفارشات - موجودی در صنایع فولاد آلیاژی
۷۵	.....۴-۲-۲-۱- خطی سازی مدل ارائه شده
۷۶	.....۴-۳- استفاده از مدل استخراج شده در صنعت فولاد
۷۷	.....۴-۴- متدولوژی حل ارائه شده جهت برنامه ریزی سفارشات - موجودی
۷۸	.....۴-۴-۱- کلیاتی در مورد الگوریتم ژنتیک
۸۱	.....۴-۴-۱-۱- روش کار در الگوریتم ژنتیک
۸۲	.....۴-۴-۱-۱-۱- کد کردن مقادیر
۸۳	.....۴-۴-۱-۱-۲- انتخاب
۸۵	.....۴-۴-۱-۱-۳- عملگر تقاطعی (ترکیب مجدد)
۸۹	.....۴-۴-۱-۱-۴- جهش
۹۰	.....۴-۴-۱-۱-۵- جابجایی
۹۱	.....۴-۴-۱-۱-۶- قاعده توقف
۹۱	.....۴-۴-۲- متدولوژی پیشنهادی جهت حل مدل برنامه ریزی سفارشات - موجودی در صنعت فولاد
۹۴	.....۴-۴-۲-۱- کد کردن متغیرها
۹۴	.....۴-۴-۲-۲- جمعیت اولیه
۹۵	.....۴-۴-۲-۳- مدیریت مناسب محدودیت ها
۹۶	.....۴-۴-۲-۴- عملگر تقاطع
۹۷	.....۴-۴-۲-۵- عملگر جهش
۹۷	.....۴-۴-۲-۶- توقف
۹۷	.....۴-۴-۲-۷- تغییر مکان جستجو
۹۹	.....۴-۵- نتایج محاسباتی
۱۰۳	.....۴-۶- حل یک مثال عملی در به کارگیری مدل برنامه ریزی سفارشات - موجودی
۱۰۶	.....۴-۷- اهمیت فرض ها و جایگاه مدل ارائه شده در تئوری و عمل
۱۰۷	.....۴-۸- نتیجه گیری

## فصل پنجم: زمانبندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته ..... ۱۰۹

- ۱-۵-۱- مقدمه ..... ۱۱۱
- ۲-۵-۲- تعریف مسئله و بیان ضرورت آن ..... ۱۱۲
- ۳-۵-۳- ارائه مدل ریاضی مسئله زمانبندی فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته ..... ۱۱۶
- ۵-۳-۱- مثال ۱ در زمانبندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته ..... ۱۲۴
- ۵-۳-۲- مثال ۲ در زمانبندی فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته ..... ۱۲۷
- ۴-۵-۴- روش حل و الگوریتم پیشنهادی ..... ۱۳۰
- ۵-۴-۱- ساده‌سازی مدل ریاضی ارائه شده ..... ۱۳۱
- ۵-۴-۲- ارائه الگوریتم ابتکاری بر پایه انشعاب و تحدید جهت حل مدل ارائه شده ..... ۱۳۷
- ۵-۴-۱-۲- نکاتی مربوط به متدولوژی ارائه شده (الگوریتم انشعاب و تحدید) ..... ۱۴۰
- ۵-۴-۲-۲- کاهش انشعابات به کمک خاصیت گروه‌بندی شارژها (تولید دسته‌ای) در مرحله ریخته‌گری پیوسته ..... ۱۴۳
- ۵-۴-۲-۳- بررسی استراتژی‌های متفاوت جهت شاخه‌زنی (انشعاب) در الگوریتم ارائه شده ..... ۱۴۴
- ۵-۴-۲-۴- ارائه یک حد بالای اولیه مناسب جهت الگوریتم ارائه شده ..... ۱۴۶
- ۵-۴-۲-۵- استراتژی حد بالا و حد پایین در الگوریتم ارائه شده ..... ۱۴۸
- ۵-۴-۲-۱- استراتژی حد پایین ..... ۱۴۸
- ۵-۴-۲-۵- استراتژی حد بالا ..... ۱۴۹
- ۵-۵-۵- اهمیت فرض‌ها و جایگاه مدل ارائه شده در تئوری و عمل ..... ۱۵۰
- ۵-۶- نتیجه‌گیری ..... ۱۵۲

## فصل ششم: زمانبندی واحد نورد ..... ۱۵۳

- ۱-۶-۱- مقدمه ..... ۱۵۵
- ۲-۶-۲- تعریف مسئله و بیان ضرورت آن ..... ۱۵۶
- ۳-۶-۳- متدولوژی حل مدل زمانبندی واحد نورد ..... ۱۷۱
- ۶-۳-۱- طراحی متدولوژی حل مسئله زمانبندی واحد نورد در دو فاز ..... ۱۷۲
- ۶-۳-۱-۱- فاز اول در حل مسئله زمانبندی واحد نورد ..... ۱۷۳
- ۶-۳-۱-۲- فاز دوم در حل مسئله زمانبندی واحد نورد ..... ۱۷۶
- ۶-۳-۱-۳- دیرترین زمان شروع و اتمام یک نوبت نورد ..... ۱۷۸
- ۶-۳-۱-۲- زودترین زمان شروع و اتمام یک نوبت نورد ..... ۱۷۸
- ۶-۳-۲- الگوریتم پیشنهادی اول جهت حل مسئله زمانبندی واحد نورد ..... ۱۷۹
- ۶-۳-۱-۲- بررسی یک مثال در زمانبندی واحد نورد ..... ۱۸۲
- ۶-۳-۳- الگوریتم پیشنهادی دوم جهت حل مسئله زمانبندی واحد نورد ..... ۱۸۵
- ۶-۳-۴- الگوریتم پیشنهادی سوم در حل مسئله زمانبندی واحد نورد ..... ۱۸۸
- ۶-۴-۴- نتایج محاسباتی ..... ۱۹۱

۱۹۱	۶-۴-۱- بررسی نتایج محاسباتی در عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی.....
۱۹۴	۶-۴-۲- خروجی یک مثال در استفاده از الگوریتم پیشنهادی.....
۱۹۷	۶-۵- اهمیت فرض‌ها و جایگاه مدل ارائه شده در تئوری و عمل.....
۱۹۹	۶-۶- نتیجه‌گیری.....
۲۰۰	<b>فصل هفتم: ارتباط بین مدل‌های ارائه شده.....</b>
۲۰۳	۷-۱- مقدمه.....
	۷-۲- ارتباط بین «برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی»، «زمانبندی فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته» و
۲۰۳	«زمانبندی نورد».....
۲۰۶	۷-۳- نمونه‌ای از یک مثال در به کارگیری مدل‌های ارائه شده.....
۲۱۰	۷-۴- نتیجه‌گیری.....
۲۰۹	<b>فصل هشتم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات.....</b>
۲۱۲	۸-۱- خلاصه و نتیجه‌گیری.....
۲۱۶	۸-۲- دست‌آوردها و نوآوری‌های تحقیق.....
۲۱۷	۸-۳- توصیه‌های اجرایی برای صنعت.....
۲۱۹	۸-۴- پیشنهاد برای تحقیقات آتی.....
۲۲۱	<b>منابع.....</b>

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- سیستم تولیدی فولاد ..... ۱۳
- شکل ۲-۲- مراحل مدیریت سفارشات (تانگ و لیو، ۲۰۰۷) ..... ۱۵
- شکل ۳-۲- نمونه‌ای از فرایند برنامه‌ریزی تولید در صنایع فولاد (لیو و همکاران، ۲۰۰۶) ..... ۱۷
- شکل ۱-۳- سیستم فروش محصولات ..... ۵۶
- شکل ۱-۴- سیستم تولید فولاد ..... ۶۲
- شکل ۲-۴- نمودار برنامه‌ریزی سفارشات ..... ۶۸
- شکل ۳-۴- مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک (پوپو و سوفیا، ۲۰۰۵) ..... ۸۱
- شکل ۴-۴- چرخ رولت ..... ۸۴
- شکل ۵-۴- نمونه‌ای از انتخاب در چرخ رولت ..... ۸۵
- شکل ۶-۴- نمونه‌ای از عملگر تقاطع تک نقطه‌ای ..... ۸۶
- شکل ۷-۴- نمونه‌ای از عملگر تقاطع دو نقطه‌ای برای آرایه ۱-۰ ..... ۸۷
- شکل ۸-۴- نمودار تاثیر ابعاد مسئله سفارشات- موجودی بر زمان حل ..... ۹۲
- شکل ۹-۴- نحوه نمایش متغیر  $x$  ..... ۹۴
- شکل ۱۰-۴- الگوریتم پیشنهادی جهت حل مدل ارائه شده ..... ۹۸
- شکل ۱۱-۴- نمودار تابع هدف الگوریتم ژنتیک در تکرارهای حل مسئله ..... ۹۹
- شکل ۱۲-۴- بررسی عملکرد الگوریتم ژنتیک ..... ۱۰۲
- شکل ۱-۵- ساختار کلی مدیریت عملیات تولید در فولادسازی (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰) ..... ۱۱۲
- شکل ۲-۵- فرایند فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته ..... ۱۱۳
- شکل ۳-۵- نتایج زمانبندی مثال ۱ ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۵- نمودار گانت مثال ۲ ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۵- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی جهت حل مدل ارائه شده برای زمانبندی فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته ..... ۱۴۲
- شکل ۶-۵- بررسی و مقایسه عملکرد استراتژی‌های ارائه شده جهت انشعاب ..... ۱۴۶
- شکل ۱-۶- فرایندهای واحد نورد ..... ۱۵۶
- شکل ۲-۶- تغییرات عرضی محصولات، بین دو تعویض متوالی غلطک‌های نورد (یک نوبت نورد) (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰) ..... ۱۶۰
- شکل ۳-۶- توالی بلوم‌ها می‌بایست از عریض به کم عرض باشد (سورنسن و کاتریس، ۲۰۰۹) ..... ۱۶۱
- شکل ۴-۶- ساختار متدولوژی پیشنهادی جهت حل مدل زمانبندی واحد نورد ..... ۱۸۱
- شکل ۵-۶- گراف مثال زمانبندی ۸ بلوم ..... ۱۸۳
- شکل ۶-۶- تشکیل یک نوبت نورد به کمک کوتاه‌ترین مسیر ..... ۱۸۴
- شکل ۷-۶- ساختار حل مسئله در فاز دوم الگوریتم دوم پیشنهادی ..... ۱۸۷

- شکل ۶-۸- نمودار بررسی عملکرد قاعده تسلط ۲ ..... ۱۹۴
- شکل ۶-۹- توالی بلومها در مثال ارائه شده ..... ۱۹۶
- شکل ۷-۱- ارتباط بین برنامه ریزی سفارشات- موجودی و زمانبندی واحدها ..... ۲۰۴
- شکل ۷-۲- توالی بلومها در زمانبندی نورد در یک مثال ..... ۲۱۰

## فهرست جداول

جدول ۱-۳- محصولات کارخانه.....	۵۲
جدول ۲-۳- ابعاد و مقاطع تولیدی.....	۵۲
جدول ۱-۴- رشته‌های ۴ بیتی.....	۸۲
جدول ۲-۴- انتخاب کروموزوم‌ها با استفاده از چرخ رولت.....	۸۵
جدول ۳-۴- نمونه‌ای از عملگر تقاطع یکنواخت.....	۸۸
جدول ۴-۴- نمونه‌ای از عملگر تقاطع از سه والد.....	۸۸
جدول ۵-۴- نمونه‌ای از جهش معکوس.....	۹۰
جدول ۶-۴- نمونه‌ای از جهش تعویض.....	۹۰
جدول ۷-۴- عملکرد الگوریتم ژنتیک در حالتی که ۵ گرید وجود دارد.....	۱۰۰
جدول ۸-۴- عملکرد الگوریتم ژنتیک در حالتی که ۷ گرید وجود دارد.....	۱۰۰
جدول ۹-۴- عملکرد الگوریتم ژنتیک در حالتی که ۹ گرید وجود دارد.....	۱۰۰
جدول ۱۰-۴: بررسی عملکرد الگوریتم ارائه شده در مقایسه با الگوریتم ژنتیک.....	۱۰۳
جدول ۱۱-۴- برنامه‌ریزی سفارشات در شرایط وجود ۵ سفارش و ۵ گرید در ۴ هفته.....	۱۰۴
جدول ۱۲-۴- برنامه‌ریزی موجودی‌ها در شرایط وجود ۵ سفارش و ۵ گرید برای ۴ هفته.....	۱۰۵
جدول ۱-۵- زمان‌های فرایند مثال ۱.....	۱۲۴
جدول ۲-۵- نتایج زمانبندی مثال ۱.....	۱۲۶
جدول ۳-۵- نتایج زمانبندی مثال ۲.....	۱۲۹
جدول ۴-۵- نتایج زمانبندی مثال ۲ به کمک مدل جدید.....	۱۳۳
جدول ۵-۵- جواب مثال دوم به کمک مدل ترکیبی خطی عدد صحیح طراحی شده.....	۱۳۶
جدول ۶-۵- عملکرد الگوریتم ارائه شده با به کار بردن روش کاهش انشعابات.....	۱۴۴
جدول ۷-۵- مقایسه الگوریتم در حالت اعمال حد بالای ابتکاری اولیه.....	۱۴۸
جدول ۸-۵- عملکرد الگوریتم شاخه و کران با لحاظ نمودن محاسبه حد بالا در هر گره.....	۱۵۰
جدول ۱-۶- مقایسه الگوریتم پیشنهادی اول با روش دستی و جواب بدست آمده از لینگو.....	۱۹۲
جدول ۲-۶- مقایسه الگوریتم پیشنهادی دوم با الگوریتم اول.....	۱۹۳
جدول ۳-۶- مقایسه الگوریتم پیشنهادی سوم با لینگو.....	۱۹۳
جدول ۱-۷- برنامه‌ریزی سفارشات در مثال ارائه شده.....	۲۰۷
جدول ۲-۷- جواب مثال دوم به کمک مدل ترکیبی خطی عدد صحیح طراحی شده.....	۲۰۸



# فصل اول: کلیات تحقیق

## ۱-۱- مقدمه

صنعت فولاد سنگ‌بنای اقتصاد صنعتی کشورها می‌باشد. از این‌رو تحقیق و پژوهش در آن از اهمیت بالایی برخوردار است. صنعت فولاد مدرن به سمت پیوستگی، سرعت بالا و اتوماتیک نمودن فرایندهای تولیدی در حرکت است. از این‌رو در این صنعت تمرکز بر روی ارتقاء کیفیت، کاهش هزینه و تحویل به موقع سفارشات می‌باشد.

زمانبندی تولید یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که در افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید در این صنعت نقش کلیدی ایفا می‌کند. زمانبندی در کاهش زمان انتظار بین فرایندها، کاهش هزینه‌های تولیدی و کاهش انرژی مصرفی نقش موثری دارد. نقش زمانبندی تولید در تعیین زمان شروع و پایان کارها روی ماشین‌ها به گونه‌ای است که شاخص‌های معینی بهبود داده می‌شوند.

در این فصل، هدف از رساله پیش‌روی، با معرفی مساله اصلی تحقیق و خرد نمودن آن به پرسش‌های تحقیق، روشن خواهد گردید. هدف از این رساله ارائه مدلی برای برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی و زمانبندی تولید در صنایع فولاد می‌باشد. در ادامه اهمیت موضوع از دیدگاه آکادمیک و کاربردی مورد اشاره قرار می‌گیرد. این اهمیت از جنبه تاثیر بر عملکرد صنایع فولاد به واسطه بهبود در برنامه‌ریزی سفارشات و برنامه‌ریزی موجودی و همچنین زمانبندی تولید با ترکیب و در نظر گرفتن توابع هدف متفاوت و بعضاً متقابل با هم می‌باشد. فرضیات تحقیق از جمله دیگر مواردی است که در این بخش بدان توجه می‌شود. همچنین، منافع پیاده‌سازی این تحقیق برای صنایع فولاد و صنایع مشابه بیان می‌شود. نوآوری‌های تحقیق نیز از دیگر مواردی است که در این فصل بدان پرداخته شده است.

## ۱-۲- هدف از تحقیق و مساله تحقیق

تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که صنایع تولیدی مختلف با توجه به رقابتی شدن محیط تولیدی، سعی در «بهبود سیستم تولیدی» با در نظر گرفتن «پاسخگویی سریع و مناسب به مشتریان» را دارا می‌باشند. در این میان صنعت فولاد با توجه به این واقعیت که به عنوان تامین کننده بسیاری از صنایع مانند صنایع نیروگاه‌ها، ابزارسازی، ساخت لوازم پزشکی و جراحی، صنایع خودروسازی و ماشین‌سازی و... می‌باشد، لزوم توجه و تحقیق و بررسی در آن بیشتر خواهد شد. برای این منظور بدون شک برنامه‌ریزی سفارشات و موجودی در پاسخگویی سریع و مناسب به مشتریان نقش بسیار کلیدی را ایفا می‌نماید. در اکثر صنایع تولیدی فولاد، سیستم تولیدی به صورت سفارشی می‌باشد اما از طرفی تولید به منظور انبار کردن، در انعطاف‌پذیری این سیستم، نقش عمده‌ای را ایفا خواهد نمود. از طرف دیگر برنامه‌ریزی سفارشات و برنامه‌ریزی موجودی تمامی واحدهای موجود در یک صنعت مانند واحد فروش، واحد خرید و... را نیز

تحت الشعاع قرار می‌دهد. اما در مورد بهبود سیستم تولیدی، بدون تردید پارامترهایی مانند بهره‌وری، هزینه، تاخیرات، تعادل در استفاده از ظرفیت در دسترس و... را می‌بایست مد نظر قرار دهیم که در این مورد زمانبندی سیستم تولیدی راهگشای مناسبی خواهد بود.

علاوه بر اهمیت برنامه‌ریزی سفارشات در صنایع فولاد، برنامه‌ریزی موجودی نیز در این صنعت از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از این‌رو در این تحقیق تاثیر هزینه‌های موجودی در سیستم تولید-موجودی فولاد با ظرفیت محدود، که محصولات بر اساس سفارش، تولید می‌شوند بررسی و تحلیل خواهد شد. در حقیقت در زمانبندی تولید می‌بایست این نکته را نیز لحاظ نمود تا توالی تولید بیلتهای سفارش داده شده توسط مشتریان به گونه‌ای باشد که محدودیت انبار و فضای لازم جهت موجودی نیز در نظر گرفته شده باشد. علاوه بر آن به منظور پاسخگویی به موقع و انعطاف پذیری لازم در ارائه خدمات به مشتریان احتیاج به نگهداری بعضی از تولیدات در انبار می‌باشد که این مورد نیز نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و مناسب به منظور کاهش هزینه و ارائه خدمات مناسب‌تر به مشتری دارد.

علاوه بر اینکه برنامه‌ریزی سفارشات و موجودی در ارائه سرویس مناسب و به موقع به مشتریان و به عبارت دیگر در اثربخشی بهبود در صنایع فولاد اهمیت دارد، بدون تردید بدون زمانبندی تولید مناسب، کارایی این هدف دستخوش کمبودهایی خواهد شد. از این‌رو مسئله زمانبندی تولید در این رساله در واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته و همچنین در واحد نورد، به تعیین زمان شروع و پایان سفارشات، با توجه به محدودیت ظرفیت، به منظور بهینه نمودن توابع هدفی چون زمان تکمیل محصول می‌پردازد.

### ۱-۳- مساله و مشکل صنعت فولاد

صنعت فولاد سنگ‌بنای اقتصاد صنعتی کشورها می‌باشد. این صنعت بدون شک از بزرگ‌ترین صنایع مادر می‌باشد که به دلیل استفاده فولاد در بسیاری از صنایع دیگر مانند صنایع نفت و پتروشیمی، نیروگاه‌ها، ابزارسازی، ساخت لوازم پزشکی و جراحی، صنایع خودروسازی و ماشین‌سازی و غیره از اهمیت بالایی برخوردار است.

از جمله مهم‌ترین مشخصات این صنعت، تولید به صورت سفارشی است. در حقیقت سفارشات دریافتی توسط این صنعت ملاک برنامه‌ریزی قرار می‌گیرد. در این راستا انتخاب سفارشات مناسب از بین سفارشات مشتریان بر اساس محدودیت‌های سیستم و تعیین سفارشات تولیدی از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا عدم انتخاب مناسب سفارشات تولیدی تاثیر مستقیم در کاهش سود و افزایش هزینه‌های تولیدی را منجر خواهد شد. بنابراین از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی این صنعت تعیین برنامه مناسب

تولیدی بر اساس سفارشات مشتریان است. در حال حاضر عدم برنامه‌ریزی مناسب در این راستا منجر به تاخیرات در تحویل سفارشات و افزایش هزینه‌های تولیدی شده است.

این رساله با توجه به نیاز مبرم این صنعت به برنامه‌ریزی مناسب تولید، به ارائه مدلی برای این منظور پرداخته است. این مدل با عنوان برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی، تعیین می‌کند که چه سفارشات از میان سفارشات مشتریان به سفارشات تولیدی تبدیل شده و از طرف دیگر فرایند شدن هر یک از فرایندهای مربوط به آن‌ها در چه زمانی صورت گیرد.

از طرف دیگر برنامه‌ریزی موجودی با توجه به حجم سرمایه‌گذاری کلان این صنعت و تولید محصولات گران‌قیمت از اهمیت بالایی برخوردار است. در حقیقت استفاده از ظرفیت تولیدی در این صنعت از دیگر چالش‌هایی است که راهکار پیشنهادی در این رساله استفاده از برنامه‌ریزی موجودی است. در حال حاضر عدم استفاده مناسب از ظرفیت تولیدی، منجر به افزایش هزینه‌ها و تولید محصولاتی (موجودی‌هایی) شده است که توجیهی برای تولید آن‌ها وجود ندارد. برنامه‌ریزی موجودی ارائه شده در این رساله این امکان را فراهم می‌آورد تا میزان تولید مازاد از سفارشات از هر گرید در انتهای هر فرایند مشخص شود.

در این رساله مدل مربوط به سفارشات و موجودی‌ها به صورت یک مدل با عنوان برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی ارائه شده است. تلفیق این دو مدل به صورت یک مدل از جمله نوآوری‌های صورت گرفته در حوزه تئوری در این موضوع می‌باشد.

از دیگر چالش‌های پیش‌روی این صنعت عدم برنامه‌ریزی مناسب در سطح کارگاه‌هاست. کارگاه‌های فولادسازی- ریخته‌گری پیوسته و کارگاه نورد فرایندهای این صنعت را انجام می‌دهند. در حال حاضر یکی دیگر از مسائل و مشکلات این صنعت، عدم توانایی واحد فولادسازی- ریخته‌گری پیوسته در تحویل محصولات مطابق با برنامه به واحد نورد می‌باشد. همچنین در حال حاضر واحد نورد نیز در تحویل محصولات نهایی مطابق با برنامه با مشکلات زیادی همراه است. این رساله در راستای این مشکلات به ارائه مدلی جهت زمانبندی دو واحد فوق (فولادسازی- ریخته‌گری پیوسته و نورد) می‌پردازد. زمانبندی این واحدها این امکان را فراهم می‌آورند تا محصولات مطابق با برنامه و در موعد مقرر به مشتری تحویل داده شوند.

ارائه مدل‌های زمانبندی واحدهای فولادسازی- ریخته‌گری پیوسته و واحد نورد به گونه‌ای که در ارتباط با مدل برنامه‌ریزی سفارشات- موجودی بوده و از طرف دیگر ارتباط مناسب با یکدیگر داشته باشند از دیگر نوآوری‌هایی است که در حوزه تئوری زمانبندی مطرح می‌باشد. از طرف دیگر این ارتباطات به ارائه راهکاری عملی و مناسب برای این صنعت کمک بزرگی خواهد نمود.