بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی تولید در ریخته‌گری‌های کوچک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- صنایع

رضا جعفری

استاد راهنما

دکتر مهدی بیجاری

۱۳۹۳

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتـایج مطالعـات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشـگاه صـنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم...

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی صنایع- صنایع آقای رضا جعفری

تحت عنوان

تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی تولید در ریخته‌گری‌های کوچک

در تاریخ ۹۳/۰۸/۲۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مهدی بیجاری
۲- استاد داور	دکتر قاسم مصلحی
۳- استاد داور	دکتر سید حمید میرمحمدی
۴- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مهدی بیجاری

تقدیر و تشکر

پس از شکرگزاری از درگاه خداوند متعال که الطاف بی کرانش همواره شامل حالم بوده است.

سپاس را تقدیم می دارم به،

استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر مهدی بیجاری که صبر و بردباری ایشان در کنار دانش و تجربه بالا، به راستی الگویی بسیار ارزنده برای من بوده است.

اساتید گرامی جناب آقای دکتر مصلحی و جناب آقای دکتر میر محمدی که زحمت داوری این پایان نامه را به عهده داشتند.

پدر و مادر بزرگوارم که تمامی موفقیت های زندگیم مرهون تلاش های بی دریغشان است.

برادر مهربان و شفیقم که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است..

دوست عزیزم آقای سیّد محمد مجیدی که همفکری با ایشان همواره راه‌های روشنی را برای من گشوده است.

و تمامی دوستانم که خاطرات خوشی را در این دوره برایم رقم زدند.

رضا جعفری

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

فهرست جداول ..... ده

فهرست اشکال ..... یازده

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهمیت و تبیین مسئله ۳

۱-۳- تعریف مسئله ۵

۱-۴- اهداف تحقیق ۶

۱-۵- مروری بر فصول پایان‌نامه ۶

فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- مفاهیم اولیه ۸

۲-۲-۱- مفاهیم حوزه‌ی برنامه‌ریزی تولید ۹

۲-۲-۲- مفاهیم حوزه‌ی ریخته‌گری ۱۱

۲-۳- روند توسعه‌ی مدل‌های پایه مرتبط با مسئله‌ی *GLSP* ۱۶

۲-۳-۱- مدل‌ها با ظرف زمانی بزرگ ۱۷

۲-۳-۲- مدل‌ها با ظرف زمانی کوچک ۱۸

۲-۴- مسئله‌ی تعیین همزمان اندازه‌ی دسته تولید و زمان‌بندی ۲۵

۲-۴-۱- مدل‌های تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی با ظرف زمانی کوچک ۲۵

۲-۴-۲- مدل‌های تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی با ظرف زمانی بزرگ ۲۶

۲-۵- مسئله‌ی تعیین همزمان اندازه‌ی دسته تولید و زمان‌بندی در کارگاه گردش‌کاری ۳۰

۲-۵-۱- مدل‌های تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی در کارگاه گردش‌کاری با ظرف زمانی کوچک ۳۰

۲-۵-۲- مدل‌های تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی در کارگاه گردش‌کاری با ظرف زمانی بزرگ ۳۱

۲-۶- مسئله‌ی تعیین اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی در ریخته‌گری‌ها ۳۲

فصل سوم: مدل ریاضی

۳-۱- مقدمه ۴۹

۳-۲- فرضیات مدل ۴۹

۳-۳- مدل ریاضی ۵۳

۳-۴- بررسی تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل ریاضی ۶۲

۳-۵- بررسی پیچیدگی مسئله ۶۳

فصل چهارم: الگوریتم‌های حل مسئله

۴-۱- مقدمه ۶۴

۴-۲- کران پایین ۶۴

۴-۳- الگوریتم‌های ابتکاری ۷۰

۴-۳-۱- الگوریتم مبتنی بر افق غلطان ۷۰

۴-۳-۲- الگوریتم‌های مبتنی بر تثبیت و بهینه‌سازی ۷۵

۴-۴- نتایج محاسباتی ۸۷

۴-۴-۱- تولید مسائل تست ۸۷

۴-۴-۲- روند برنامه‌نویسی ۹۲

۴-۴-۳- بررسی کارایی مدل ریاضی ۹۳

۴-۴-۴- بررسی کارایی الگوریتم‌های ابتکاری ۹۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- جمع‌بندی ۱۰۲

۵-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۰۵

مراجع ۱۰۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل ریاضی ۶۲

جدول ۴-۱: ارزیابی کران پایین ۶۹

جدول ۴-۲: مقایسه دو رویکرد پیشروی رو به جلو و عقب ۷۴

جدول ۴-۳: تعداد آلیاژها، محصولات و دوره‌ها در مسائل تست ۹۲

جدول ۴-۴: نتایج حاصل از حل مسائل تست توسط مدل ریاضی ارائه شده در فصل سوم ۹۴

جدول ۴-۵: مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری از نظر کیفیت جواب ۹۶

جدول ۴-۶: مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری از نظر زمان حل ۱۰۰

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: مراحل فرآیند ریخته‌گری [۱۲] ۱۴

شکل ۲-۲: ساختار ماکرو دوره‌ها و جایگاه‌ها در مدل *GLSP* ۲۳

شکل ۳-۱: فرآیند تولید ساده‌سازی شده در ریخته‌گری‌های کوچک ۵۱

شکل ۴-۱: روند الگوریتم افق غلطان در تکرارهای مختلف ۷۲

شکل ۴-۲: روند تجزیه دو دوره‌ای و رو به جلو در الگوریتم *HBFO1* ۸۴

شکل ۴-۳: روند تثبیت و بهینه‌سازی در الگوریتم *HBFO2* ۸۶

چکیده

قطعات ریخته‌گری بعد از نفت و فولاد بیشترین سهم را در تجارت بین‌المللی دارند و صنعت ریخته‌گری یکی از بزرگترین صنایع در قرن بیست و یکم است. ایجاد یک برنامه‌ی تولید مناسب که بتواند علاوه بر پاسخگویی مناسب به نیاز مشتریان، هزینه‌های تولید را در ریخته‌گری‌ها کاهش دهد، موضوع قابل توجهی است. در این پایان‌نامه، مسئله‌ی تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی تولید در ریخته‌گری‌های کوچک مورد بررسی قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های این ریخته‌گری‌های کوچک می‌توان به مواردی هم‌چون، وجود یک کوره جهت عملیات ذوب‌سازی، انجام قالب‌گیری به صورت ماسه‌ای و دستی، استفاده‌ی اندک از اتوماسیون و وجود یک بخش پرداخت جهت اصلاح قطعات ریخته‌گری شده، اشاره کرد. یکی از دیدگاه‌های مورد توجه در دهه‌ی اخیر در افزایش سطح خدمت به مشتری، تولید به موقع در سیستم‌های تولید سفارشی است. با توجه به این دیدگاه، کاهش هزینه‌های دیرکرد سفارشات و نگهداری محصولات به عنوان یکی از اهداف مسئله در این پایان‌نامه مد نظر است. در این تحقیق، یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی مذکور با توجه به محدودیت‌های موجود در سیستم تولید در ریخته‌گری‌های کوچک با الگوبرداری از مسئله‌ی *GLSP* توسعه داده شده‌است. هدف این مدل، کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های آماده‌سازی کوره، نگهداری محصول میانی و نهایی و دیرکرد سفارش‌ها است. از ویژگی‌های این مدل می‌توان به تصمیم‌گیری در مورد تمام مراحل تولید به طور همزمان، در نظرگیری محدودیت‌های سیستم تولید و ایجاد هماهنگی بین مراحل قالب‌گیری و ذوب اشاره کرد. تاکنون در ادبیات موضوع، مسئله‌ی برنامه‌ریزی تولید در ریخته‌گری‌ها با تمام ویژگی‌های مذکور مورد بررسی قرار نگرفته‌است. از آنجایی که این مسئله *NP-Hard* است، بنابراین حل بهینه‌ی مدل ریاضی ارائه شده با بالا رفتن ابعاد مسئله به شدت زمان‌بر خواهد بود. به همین دلیل، دو الگوریتم مبتنی بر تثبیت و بهینه‌سازی و یک الگوریتم مبتنی بر افق غلطان برای مسئله پیشنهاد شده‌است. این الگوریتم‌ها با استفاده از ۱۲۰ مثال مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. متوسط زمان حل در الگوریتم مبتنی بر افق غلطان ۴۰/۲۲ ثانیه است، این در حالی است که در مورد الگوریتم اول و دوم مبتنی بر تثبیت و بهینه‌سازی متوسط زمان حل به ترتیب ۶۲/۱۳ و ۴۸/۱۸ ثانیه است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهند که این الگوریتم‌ها در حالی که زمان حل مسائل را به صورت قابل توجهی کاهش داده‌اند، از جواب‌های با کیفیتی نسبت به مدل ریاضی برخوردارند. از نظر کیفیت جواب، به طور متوسط فاصله‌ی جواب‌های بدست آمده توسط الگوریتم مبتنی بر افق غلطان و الگوریتم‌های اول و دوم مبتنی بر تثبیت و بهینه‌سازی از جواب حاصل از اجرای مدل ریاضی در مدت زمان ۷۲۰۰ ثانیه، به ترتیب ۴/۴۷، ۲/۵۲ و ۲/۷۳ درصد است. بنابراین از نظر زمان حل، الگوریتم مبتنی بر افق غلطان و از نظر کیفیت جواب، الگوریتم اول مبتنی بر تثبیت و بهینه‌سازی عملکرد بهتری دارند.

کلمات کلیدی: ریخته‌گری کوچک، اندازه‌ی دسته تولید، زمان‌بندی تولید، موعد تحویل، هزینه‌ی نگهداری.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

قطعات ریخته‌گری بعد از نفت و فولاد بیشترین سهم را در تجارت بین‌المللی دارند و صنعت ریخته‌گری یکی از بزرگ‌ترین صنایع در قرن بیست و یکم است. براساس پیش‌بینی‌های موجود، اگر چه فولاد تا سال ۱۴۰۴ همچنان به عنوان صنعت غالب غیرنفتی در ایران باقی خواهد ماند، اما صنعت ریخته‌گری بیشترین درصد نسبی رشد را تجربه می‌کند. شواهد نشان می‌دهند که صنایع ریخته‌گری تا سال ۱۴۰۴، از اهمیت فزاینده و رو به رشدی برخوردار خواهند بود و هم زمان با افزایش بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید، سهم قطعات ریخته‌گری در سبد مصرف داخلی و صادرات افزایش خواهد یافت[۱]. افزایش تقاضای داخلی و به‌تبع آن عرضه قطعات ریخته‌گری به طور روز افزونی علاوه بر شرکت‌های بزرگ ریخته‌گری دردست شرکت‌های کوچک ریخته‌گری نیز قرار گرفته است و از این‌رو ریخته‌گری‌های کوچک اهمیت پیدا کرده‌اند.

کشور ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۲۰ ، نیازمند افزایش ظرفیت بسیار زیادی برای تولید قطعات ریخته‌گری خواهد بود، به طوری که تصور می‌شود طی این مدت باید در حدود ۵ میلیون تن ظرفیت جدید در کشور ایجاد شود[۱]. برای برآورده ساختن تقاضای داخلی در سال‌های پیش رو، به سرمایه‌گذاری عمده‌ای نیاز است و پیش‌بینی می‌شود که تأسیس واحدهای جدید مورد نیاز در سه دهه آینده، مستلزم سرمایه‌گذاری هنگفتی باشد. می‌توان با افزایش بهره‌وری در ریخته‌گری‌های موجود بدون نیاز به سرمایه‌گذاری هنگفت، تا حدودی این تقاضای ایجاد شده

را پوشش داد. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری ایجاد یک برنامه‌ی تولید مناسب در این ریخته‌گری‌هاست. یک برنامه‌ریزی تولید مناسب علاوه بر آنکه تقاضا و خواسته‌های مشتری را بهتر برآورده می‌کند، می‌تواند هزینه‌ی تمام شده‌ی تولید محصولات ریخته‌گری را نیز کاهش دهد. برنامه‌ریزی تولید در سه سطح بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت به صورت سلسله مراتبی انجام می‌شود. در برنامه‌ریزی بلند مدت، تصمیمات استراتژیک مثل انتخاب محصولات، تجهیزات و فرآیندها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در برنامه‌ریزی میان مدت، اندازه‌ی دسته‌های تولید با توجه به ظرفیت در دسترس به نحوی تعیین می‌گردد که معیارهای هزینه‌ای مثل هزینه‌ی نگهداری موجودی، هزینه‌ی کمبود و ... کمینه گردد. زمان‌بندی عملیات و تعیین توالی کارها در برنامه‌ریزی کوتاه مدت مورد توجه قرار می‌گیرند.

شرکت‌های ریخته‌گری دارای تولید دسته‌ای[1] هستند و تولید در این شرکت‌ها به صورت کارگاه گردش‌کاری[2] در چند مرحله انجام می‌گیرد. از دیگر ویژگی‌های ریخته‌گری‌ها می‌توان به سفارشی بودن تولید محصولات، تنوع زیاد محصولات و آلیاژها و تولید قطعات در دسته‌های کوچک برای تعداد زیاد مشتریان اشاره کرد[۲, ۳]. تصمیم‌گیری در مورد اندازه‌ی دسته‌ی تولید محصولات و زمان‌بندی آن‌ها دو مقوله‌ی مهم در سیستم برنامه‌ریزی تولید این شرکت‌ها در سطح میان‌مدت و کوتاه‌مدت محسوب می‌شود. این تصمیم‌ها تأثیر بسزایی بر کاهش هزینه‌های تولید و پاسخگویی مناسب به نیاز مشتریان دارد.

۱-۲- اهمیت و تبیین مسئله

با وجود کارهای بسیاری که در زمینه‌ی برنامه‌ریزی تولید در کارخانه‌های فولادسازی انجام شده است، اما علی‌رغم اهمیت ریخته‌گری‌ها، تحقیقات اندکی در این زمینه تاکنون انجام گرفته‌است. در ریخته‌گری‌ها، در عمل تعیین اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی محصولات در فاز اول با احتساب تقاضا و موعد تحویلِ محصولات انجام می‌شود و زمان‌بندی تولید مواد(تعیین توالی شارژ کوره) در فاز دوم و به عنوان تابعی از خروجی فاز اول انجام می‌گیرد. حال آنکه، چنین روش غیریکپارچه‌ای می‌تواند یک زمان‌بندی ضعیف را برای توالی شارژ آلیاژها در کوره نتیجه دهد[۴]. کارهای ارائه شده در این زمینه هم معمولاً سه اشکال کلی دارندکه یک یا چند اشکال را در هر یک از آن‌ها می‌توان یافت. اولاً، تمام مراحل موجود در ریخته‌گری‌ها را در برنامه‌ریزی خود لحاظ نمی‌کنند و سعی دارند که با ساده‌سازی مسئله، بسیاری از محدودیت‌های عملی موجود در ریخته‌گری‌ها را از مدل ریاضی پیشنهادی خود حذف کنند. ثانیاً،

---

[1] *Batch production*
[2] *Flow shop*

بعضی از این کارها به دلیل ماهیت سفارشیِ تولید محصولات در ریخته‌گری‌ها، تنها به زمان‌بندی سفارش‌ها اشاره دارند. حال آنکه تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولید و ادغام سفارش‌ها می‌تواند تأثیر بسزایی در استفاده‌ی بهتر از کوره، کاهش هزینه‌های آماده‌سازی، کاهش دیرکردها و ... داشته باشد. ثالثاً، برخی از کارها تنها به تعیین اندازه‌ی دسته‌ی تولیدِ محصولات اکتفا کرده‌اند و به مسئله‌ی زمان‌بندی و تعیین توالی محصولات و آلیاژها(مواد اولیه) توجهی نداشته‌اند، در صورتی‌که زمان‌بندی شارژ کوره و تولید محصولات همواره مورد توجه ریخته‌گری‌ها بوده است.

امروزه به دلیل رواج فلسفه تولید به موقع (JIT[1]) مشتریان نمی‌خواهند که سفارش خود را زودتر یا دیرتر از موعد تحویل دریافت کنند. فلسفه تولید به موقع بر اساس تولید اقلام مورد نیاز، به اندازه‌ی لازم و در زمان‌های مورد نیاز است[۵]. استراتژی تحویل به موقع با وجود محدودیت ظرفیت تولیدکنندگان، موجب اعمال هزینه بر تولیدکنندگان شده‌است، زیرا اگر محصول زودتر از موعد تحویل تکمیل شود باید توسط تولیدکننده تا زمان رسیدن موعد تحویل نگهداری شود، که این منجر به اعمال هزینه‌هایی مثل هزینه‌ی نگهداری، بیمه و... می‌شود. از طرف دیگر اگر محصول بعد از موعد تحویل آماده شود باعث نارضایتی مشتری شده و منجر به هزینه دیرکرد، از دست دادن فروش، از دست دادن اعتبار شرکت و... می‌شود. به عبارت دیگر دیرکرد منعکس کننده عدم رضایت مشتری و زودکرد نشان دهنده عملکرد موجودی است. بنابراین ایده اصلی زمان‌بندی این است که محصولات دقیقاً در زمان موعد تحویل خود تکمیل شوند.

با توجه به نقش محوری کوره در سیستم تولید ریخته‌گری‌ها، استفاده بهینه از ظرفیت کوره همواره مورد توجه شرکت‌های ریخته‌گری می‌باشد. استفاده بهینه از کوره را می‌توان بدین صورت تفسیر کرد که با توجه به سایر هزینه-های موجود در سیستم تولید نظیر هزینه‌های زودکرد و دیرکرد، آیا استفاده از کوره جهت ذوب آلیاژ در این زمان خاص به صرفه است؟. بنابراین استفاده بهینه از ظرفیت کوره را می‌توان با کمینه کردن هزینه آماده‌سازی‌های کوره به منظور تهیه ذوب لازم جهت برآورده ساختن تقاضای مشتریان در طول افق برنامه‌ریزی معادل دانست. زیرا در هر آماده‌سازی کوره و تهیه ذوب در آن هزینه‌ی ثابتی به سیستم تولید اضافه می‌گردد، بنابراین کاهش هزینه‌ی آماده-سازی کوره به معنای کاهش تعداد دفعاتی است که از کوره به منظور تأمین تقاضای مشتریان در طول افق برنامه‌ریزی استفاده می‌شود و این به معنای استفاده بهینه از ظرفیت کوره است.

[1] *Just In Time*

بنابراین نیاز به یک برنامه‌ریزی‌تولید که به طور همزمان و یکپارچه بتواند اندازه‌ی دسته‌ی تولید محصولات، زمان‌بندی شارژ آلیاژها و توالی تولید محصولات را در مراحل مختلف تولید در ریخته‌گری‌ها تعیین کند، وجود دارد. این برنامه‌ریزی با در نظرگیری تمام مراحلِ تولید در ریخته‌گری‌ها و با توجه به محدودیت‌های عملی موجود در آن‌ها شامل محدودیت منابع در مراحل مختلف فرآیند، محدودیت‌های فرآیندی و ارتباط مراحل مختلف فرآیند انجام می‌گیرد. با توجه به اهمیتِ بالای تحویل به موقع سفارش‌ها و استفاده‌ی مناسب از کوره در ریخته‌گری‌ها، هدف از برنامه‌ریزی تولید، کاهش هزینه‌های زودکرد (نگهداری)، دیرکرد و آماده‌سازی کوره خواهد بود.

۱-۳- تعریف مسئله

یک ریخته‌گری را که تنها یک کوره جهت ذوب‌سازی دارد را درنظر بگیرید. به بیان دیگر، در این ریخته‌گری تنها یک کوره در هر زمان به کار گرفته می‌شود[۴]. پس در این ریخته‌گری در هر بار شارژ کوره تنها یک نوع آلیاژ می‌تواند تولید شود. قالب‌گیری در این ریخته‌گری به صورت ماسه‌ای است و عمده‌ی کارهای انجام شده در بخش قالب‌گیری به صورت دستی انجام می‌گیرد[۴] و تنها برای جابه‌جایی درجه‌ها و قالب‌ها از جرثقیل‌های سقفی و نوار نقاله استفاده می‌گردد[۲]. همچنین در این ریخته‌گری، از کارگاه ماشین‌کاری جهت پرداخت و اصلاح قطعات ریخته‌گری‌شده استفاده می‌شود[۲]. در ادبیات موضوع از این ریخته‌گری با عنوان ریخته‌گری کوچک نام برده می‌شود[۴]. فرآیند تولید در این ریخته‌گری شامل سه مرحله‌ی قالب‌گیری، ذوب و پرداخت است. در این ریخته‌گری، سفارش‌ها در ابتدای افق برنامه‌ریزی دریافت می‌شوند. در هر سفارش نوع محصول، تعداد محصول و موعد تحویل مشخص شده است. تحویل به موقع هر سفارش بسته به حجم سفارش و آن‌که از طرف کدامیک از مشتریان صادر شده‌است، اهمیت پیدا می‌کند. در مرحله‌ی قالب‌گیری باید برنامه‌ی تولیدی تهیه شود که مشخص می‌کند در هر شیفت کاری برای چه محصولاتی و طبق چه ترتیبی قالب‌ها آماده شوند. طبق برنامه‌ی مشخص شده، قالب‌گیری انجام شده و قالب‌ها برای محصولات مورد نظر مهیّا می‌شوند. سپس قالب‌های آماده شده به منظور ذوب‌ریزی بر روی نوار نقاله قرار گرفته و در انتظار فرآیند ذوب‌ریزی می‌مانند. مرحله‌ی ذوب شامل فرآیندهای ذوب‌سازی، ذوب‌ریزی و سردسازی می‌باشد. در فرآیند ذوب‌سازی با توجه به برنامه‌ی تولید تهیه شده و ظرفیت کوره، آلیاژ مورد نظر در کوره شارژ می‌شود و عملیات ذوب‌سازی انجام می‌گیرد. در تهیه برنامه‌ی زمان‌بندی تهیه‌ی آلیاژها در کوره، باید به این موضوع توجه داشت که بعضی از آلیاژها با یکدیگر ناسازگارند. یعنی؛ به دلیل ایجاد آلودگی در کوره، بعضی از آن‌ها نمی‌توانند پس از بعضی از آلیاژهای دیگر در کوره شارژ شوند[۶]. باید بین آلیاژی که در کوره در حال آماده‌سازی است و قالب‌هایی که آماده شده‌اند، هماهنگی باشد. زیرا هر محصول به آلیاژ خاصی نیاز دارد و در هر بار شارژ کوره نیز تنها یک نوع آلیاژ تهیه می‌شود. بنابراین در هر بار تهیه آلیاژ در کوره، قالب‌گیری برای محصولاتی که

به آن نوع آلیاژ نیاز دارند باید انجام گرفته باشد. پس، با توجه به محدویت‌های بیان‌شده در فرآیند ذوب‌سازی، کسب اطلاع از اینکه در هر شیفت چه آلیاژهایی و با چه ترتیبی در کوره شارژ شوند، با ارزش خواهد بود. پس از آنکه فرآیند ذوب‌سازی به اتمام رسید، فرآیند ذوب‌ریزی درون قالب‌ها آغاز می‌گردد و آلیاژ ذوب شده به وسیله‌ی پاتیل به درون قالب‌ها ریخته می‌شود. زمانی که عملیات ذوب‌ریزی آغاز می‌شود، به دلایل فنی، باید بدون توقف تکمیل - گردد، به همین دلیل قبل از آغاز فرآیند ذوب‌ریزی باید قالب‌ها آماده باشند[۶]. برنامه‌ی تولید در فرآیند ذوب‌ریزی مشخص می‌کند که در هر شارژ، چه تعداد از قالب‌هایی که آماده شده‌اند برای محصولات مختلف ذوب‌ریزی می‌شوند. پس از فرآیند ذوب‌ریزی، قطعات ذوب‌ریزی شده سرد می‌گردند و در انتظار انجام عملیات پرداخت می‌مانند. برنامه‌ی تولید در مرحله‌ی پرداخت، تعداد محصولاتی را که در هر دوره باید تحت عملیات پرداخت قرار گیرند را مشخص می‌کند. پس از آنکه عملیات پرداخت بر روی قطعات انجام گرفت، سفارش مشتریان تکمیل شده و در موعد مقرر تحویل داده می‌شود. در صورت عدم تکمیل سفارش مشتری در موعد تحویل، تا زمان تکمیل سفارش و تحویل سفارش کامل به مشتری، جریمه‌ی دیرکرد به مشتری پرداخت می‌گردد.

۱-٤- اهداف تحقیق

هدف این پایان‌نامه ارائه یک مدل ریاضی برای مسئله‌ی تعیین همزمان اندازه‌ی دسته‌ی تولید و زمان‌بندی در ریخته‌گری‌های کوچک و همچنین ارائه روش‌های ابتکاری برای حل این مسئله در زمان مناسب است. تابع هدف این مسئله به صورت مینیمم‌سازی هزینه‌های آماده‌سازی کوره، هزینه‌ی زودکرد که به صورت هزینه‌ی نگهداری هر واحد سفارش در واحد زمان در نظر گرفته می‌شود و هزینه‌ی دیرکرد که به کل سفارش در واحد زمان تعلق می‌گیرد، است. با توجه به تعریف مسئله‌ی ارائه شده، در این پایان‌نامه به دنبال آن هستیم که بتوانیم در مراحل مختلف ریخته‌گری تصمیم‌های مورد نیاز را با توجه به محدودیت‌های موجود در سیستم تولید ریخته‌گری‌های کوچک اخذ نماییم. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در ادبیات موضوع، ریخته‌گری‌های کوچک تاکنون بدین صورت مورد بررسی قرار نگرفته‌اند.

۱-۵- مروری بر فصول پایان‌نامه

این تحقیق در پنج فصل تنظیم شده‌است. پس از ارائه مقدمات در فصل اول، در فصل دوم به بررسی مفاهیم اولیه مدنظر این تحقیق و ادبیات موضوع پرداخته شده‌است. مفاهیم به کار برده شده در این پایان‌نامه در دو حوزه‌ی برنامه-

ریزی تولید و ریخته‌گری تعریف می‌شوند. در این فصل همچنین مفهوم ریخته‌گری کوچک که مدنظر این پایان‌نامه است، به دقت شرح داده می‌گردد. در ادامه‌ی این فصل، روند توسعه‌ی مدل‌های پایه مرتبط با مسئله‌ی $GLSP$[1] ارائه و مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس ادبیات موضوع مرتبط با مسئله‌ی تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی در دو دسته‌ی ظرف زمانی کوچک و ظرف زمانی بزرگ بررسی می‌شوند. از آنجایی که سیستم تولید در ریخته‌گری‌ها به صورت کارگاه گردش‌کاری است، بنابراین کارهای انجام گرفته در زمینه‌ی تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی در کارگاه گردش‌کاری نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان این فصل نیز، مطالعاتی که به طور مستقیم به مسئله‌ی تعیین اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی در ریخته‌گری‌ها اشاره کرده‌اند، مرور می‌شوند. در فصل سوم یک مدل ریاضی MIP[2] برای مسئله‌ی تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی تولید در ریخته‌گری‌ها کوچک ارائه می‌شود. در این فصل فرضیات مدل به همراه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل توضیح داده می‌شود. در فصل چهارم، الگوریتم‌های حل مسئله مورد بررسی قرار می‌گیرد. در همین راستا، دو الگوریتم مبتنی بر تثبیت و بهینه‌سازی و یک الگوریتم مبتنی بر افق غلطان ارائه خواهد شد. به منظور ارزیابی کیفیت جواب‌های بدست آمده توسط این الگوریتم-ها، یک کران پایین برای مسئله توسعه داده می‌شود. در پایان این فصل نیز نتایج محاسباتی به منظور ارزیابی و مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری گزارش می‌گردد. در فصل پنجم نیز به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات برای ادامه تحقیق پرداخته می‌شود.

[1] *General Lot-sizing and Scheduling Problem*
[2] *Mixed Integer Programming*

فصل دوم

مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- مقدمه

در این فصل، کارهای انجام گرفته در حوزه‌ی مسئله تحت مطالعه بررسی می‌شوند. در ابتدا مفاهیم به کار برده-شده در حوزه‌های برنامه‌ریزی تولید و ریخته‌گری معرفی می‌شوند. سپس روند توسعه‌ی مدل‌های تعیین اندازه‌دسته و زمان‌بندی مرتبط با مدل عمومی تعیین اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی شرح داده می‌شود. در بخش بعد، مروری بر مسائل تعیین همزمان اندازه‌ی دسته و زمان‌بندی صورت می‌گیرد و این مسائل با توجه به اینکه از ظرف زمانی بزرگ یا کوچک استفاده می‌کنند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه، نظر به اینکه سیستم تولید در ریخته‌گری‌ها به صورت کارگاه گردش‌کاری است، مدل‌های تعیین همزمان اندازه‌ی دسته‌ی تولید و زمان‌بندی در سیستم کارگاه گردش-کاری بررسی می‌شوند. در پایان این فصل نیز کارهایی که در حوزه‌ی تعیین اندازه‌ی دسته تولید و زمان‌بندی در ریخته‌گری‌ها انجام گرفته است، بررسی خواهند شد.

۲-۲- مفاهیم اولیه

در این بخش، مفاهیم به کار برده شده در این پایان‌نامه در حوزه‌ی برنامه‌ریزی تولید و ریخته‌گری معرفی می-شوند.

۲-۲-۱- مفاهیم حوزه‌ی برنامه‌ریزی تولید

برنامه‌ریزی تولید برای کارخانه‌های صنعتی موضوع مهمی است، زیرا تأثیر بسزایی بر روی عملکرد آن‌ها از لحاظ کیفیت خدمت به مشتری و هزینه‌های ناشی از عملیات تولید دارد. اگر چه، برنامه‌ریزی تولید به دلایل زیر یکی از فعالیت‌های پیچیده محسوب می‌شود[۷]:

- اغلب یک منبع تولید کاملاً در اختیار یک محصول نیست، بلکه توسط چند نوع محصول استفاده می‌شود. معمولاً منابع تولید در دسترس خیلی انعطاف‌پذیر نیستند و در یک زمان خاص تنها یک نوع محصول را می‌توانند تولید کنند. بنابراین برنامه‌ریزانِ تولید با یک رقابت بین محصولات که از تسهیلاتِ تولید یکسان استفاده می‌کنند، مواجه هستند. آن‌ها باید در مورد اینکه «کدام محصول»، «چه زمانی» و «به چه میزان» تولید شود، تصمیم‌گیری کنند و در این تصمیم‌گیری تمام محدودیت‌های سیستم تولید را نیز باید در نظر بگیرند. در بعضی موارد، محدودیت‌ها آن‌چنان تنگ هستند که یافتن یک برنامه‌ی تولید شدنی بسیار مشکل است.
- یک برنامه‌ی تولید با چند هدف متضاد روبرو است. برای مثال، تضمین سطح خدمت عالی به مشتری و حداقل کردن هزینه‌های تولید و موجودی دو هدف متضاد هستند که مورد توجه برنامه‌ریزان تولید است. بنابراین یک برنامه‌ی تولید خوب، نتیجه‌ی رسیدن به یک تعادل بین اهداف متضاد است.
- یک برنامه‌ی تولید هرگز برای همیشه ثابت نیست. اعتبار یک برنامه‌ی تولید محدود به افق برنامه‌ریزی معین آن است. بنابراین هنگامی که افق برنامه‌ریزی به پایان رسید، باید با توجه به شرایط جاریِ سیستم تولید برنامه‌ی جدیدی طراحی شود. به علاوه، تقریباً همیشه برنامه از واقعیت انحراف دارد. اگر اختلاف بین برنامه و شرایط واقعی سیستم زیاد باشد، برنامه‌ی تولید قبل از اتمام افق برنامه‌ریزی بازنگری می‌شود.

➢ **برنامه‌ریزی تولید**

برنامه‌ریزی تولید به دنبال استفاده‌ی بهینه از منابع تولید به منظور تحقق اهداف تولیدی طی یک دامنه‌ی زمانی به نام افق برنامه‌ریزی است. هر افق برنامه‌ریزی نیز خود به اجزایی تقسیم می‌شود، که به هر یک از این اجزاء دوره اطلاق می‌گردد[۸].

برنامه‌ریزی تولید به طور کلی سه دامنه‌ی زمانی در تصمیم‌گیری را در بر می‌گیرد: بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت. در برنامه‌ریزی بلند مدت، معمولاً تمرکز بر تصمیم‌های استراتژیک مانند انتخاب محصول، تجهیزات و فرآیند،

برنامه‌ریزی طراحی و مکان‌یابی کارخانه و برنامه‌ریزی منابع است. برنامه‌ریزی میان‌مدت اغلب تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد(*MRP*[1]) و تعیین اندازه‌ی دسته[2] طی دوره‌ی برنامه‌ریزی را شامل می‌شود. در برنامه-ریزی کوتاه‌مدت تصمیم‌ها معمولاً در مورد زمان‌بندی روز به روز عملیات‌ها مانند تعیین توالی کارها یا کنترل در کارگاه است[۸].

- **تعیین اندازه‌ی دسته تولید**

یک دسته‌ی تولیدی نشان‌دهنده‌ی مقداری از محصول است که باید پیوسته و بدون انقطاع بر روی یک ماشین، در یک زمان مشخص تولید شود[۹]. تعیین اندازه‌ی دسته مشخص می‌کند که کی و چه مقدار از یک محصول تولید شود، به طوریکه هزینه‌های نگهداری(زودکرد)، تولید، آماده‌سازی و دیرکرد(کمبود) حداقل شوند. از آنجایی‌که تقاضا برای محصولات در زمان‌های معین رخ می‌دهد و با توجه به اینکه آماده‌سازی ماشین برای تولیدِ یک محصول با صرف هزینه و زمان همراه است، بنابراین برای صرفه‌جویی در هزینه و زمان آماده‌سازی می‌توان تقاضاهای یک محصول در دوره‌های مختلف را با هم جمع کرد و با یکبار آماده‌سازی آن‌ها را تولید نمود. از سوی دیگر تولید محصولات قبل از موعد تحویل(دوره‌ای که تقاضا برای محصول اتفاق افتاده‌است.) باعث تحمیل هزینه‌ی نگهداری(زودکرد) می‌شود و تولید محصول پس از موعد تحویل، هزینه‌ی دیرکرد را برای سیستم تولید در بر دارد. بنابراین تصمیم‌گیری درست در مورد اندازه‌ی دسته مستقیماً بر عملکرد سیستم تولید و بهره‌وری آن اثر می‌گذارد.

- **زمان‌بندی(تعیین توالی) تولید**

زمان‌بندی تولید یکی از اجزای کلیدی سیستم‌های تولید است. مسئله‌ی زمان‌بندی، با جزئیات تولید از قبیل زمان-های دقیق تولید و ماشینِ اختصاص داده‌شده به یک واحد محصول سر و کار دارد. هدف مورد نظر در مسئله‌ی زمان-بندی تابعی از زمان است. کمینه‌کردن زمان تکمیل یا کمینه کردن دیرکردها می‌توانند نمونه‌هایی از این مسائل باشند[۱۰]. پس می‌توان زمان‌بندی را بدین صورت تعریف کرد: تعیین زمان شروع و پایان اجرای کارها و توالی آن‌ها روی ماشین‌ها، به طوری‌که یک شاخص عملکرد(زمان خاتمه کار، میزان تأخیرات و ...) بهینه شود. زمان‌بندی از دسته مسائلی است که در حوزه‌ی تصمیمات کوتاه مدت قرار می‌گیرد. در بسیاری از موارد عمل زمان‌بندی کارها پس از حل مسائل برنامه‌ریزی سطوح بالاتر مورد توجه قرار می‌گیرد. باید به این نکته توجه داشت که تصمیمات

[1] *Material Requirments Planning*
[2] *Lot-Sizing*